



ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

№ 3
2023

Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

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

Периодичность – 4 номера в год

№ 3 2023 г.

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК

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

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Проскура Николай Анатольевич,
редактор АлтГТУ (г. Барнаул)

УЧРЕДИТЕЛИ

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

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

ИНДЕКС: 73664 (Урал-Пресс)

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ

656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова (АлтГТУ), тел. (3852) 29-09-46, e-mail: polz_journal@mail.ru, Стопорева Т. А.
Сайт журнала: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>
Дата выхода в свет 08.10.2023 г.
Цена 600 рублей.



Polzunovskiy VESTNIK

ISSN 2072-8921

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

Publication frequency: quarterly

№ 3 2023

SCIENTIFIC JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Aleksey Guriev

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Larisa Mayurnikova

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

EDITORIAL BOARD

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

ISSUE MANAGER

Tatiana Stoporeva

Candidate of Technical Sciences, ASTU,
Barnaul, Russia

TECHNICAL EDITOR

Nikolay Proskura

Editor, ASTU, Barnaul, Russia

FOUNDERS

POLZUNOV ALTAI STATE TECHNICAL UNIVERSITY (ASTU)

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

PUBLISHER

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

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

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

Signed for printing 08.10.2023



СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

- Ю. И. Матвеев, Е. В. Аверьянова
Использование аналитических подходов для оценки влияния липидов на время переваривания белков и углеводов пищи ...7
- А. И. Яшкин
Влияние цедры лимона на органолептические и технологические показатели качества мороженого13
- И. А. Бакин, А. А. Макарова, Ш. В. Гаспарян
Анализ устойчивости технологии очистки клубней топинамбура21
- А. С. Захарова, С. И. Конева, Л. Е. Мелёшкина
Влияние нетрадиционного сырья на формирование качества и пищевую ценность хлебобулочных изделий функционального назначения34
- С. А. Белина
Моделирование комплексной пищевой добавки из арктического растительного сырья, обладающей антиоксидантным и иммунокорректирующим свойствами41
- Л. Н. Крикунова, Е. В. Дубинина, Е. В. Ульянова, О. Н. Ободеева
Трансформация летучих компонентов плодовых водок при хранении47
- Н. А. Величко, Е. В. Мельникова, Е. Н. Аёшина
Использование выжимок брусники в рецептурах рубленых полуфабрикатов из мяса птицы53
- С. П. Меренкова, О. В. Зинина
Потенциал использования микроэмульсий как биоактивного компонента пищевых пленочных материалов58
- О. С. Якубова, А. А. Бекешева, О. В. Чугунова
Использование желатина различного происхождения в технологии отделочных кондитерских полуфабрикатов65
- И. Ю. Резниченко
Применение пищевых добавок и вопросы их регламентирования в чипсах...76
- Т. В. Першакова, Г. А. Купин, Т. В. Яковлева, В. Н. Алёшин
Эффект биологической и физической обработки на качество и потери груш при хранении83
- Е. М. Севостьянова, А. А. Шилкин
Идентификация упакованных глубинных вод из озера Байкал92
- Н. Л. Наумова, А. А. Лукин, Е. А. Велисевич
Потребительские свойства и пищевая ценность яблок зимних сроков созревания 101
- В. Б. Мазалевский, С. К. Волончук, Г. П. Черыга, С. В. Станкевич
Способ производства мягкого сыра с порошком из моркови функциональной направленности 107
- А. А. Рядинская, И. А. Коцаев, С. А. Чувев, К. В. Лавриненко
Улучшение свойств пастильных изделий посредством обогащения йодсодержащим сырьем 115
- С. И. Конева, А. С. Захарова, Л. Е. Мелёшкина
Проектирование рецептуры и технологии хлебобулочных изделий с применением апипродуктов 123
- Г. А. Макарова, О. Ю. Михайлова
Натуральные соки из интродуцированных сортов винограда с белой окраской ягод 129
- В. П. Вистовская, Е. П. Каменская, Д. С. Кожемякин, Е. С. Дикалова
Разработка мультиэнзимной композиции для гидролиза пивной дробины с использованием методов математического моделирования 134
- Д. В. Гращенков, А. В. Вернер
Современные подходы к расширению ассортимента продукции методом проектирования 142
- С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, И. Г. Пестова, Н. В. Мерзлякова
Классификация и подтверждение антимикробной активности пищевого пептида в эксперименте *in vitro* 150
- А. А. Федотов, Н. Э. Тагиева, А. В. Борисова
Повышение питательной ценности итальянского хлеба при введении флавоноидсодержащих добавок растительного происхождения 156
- А. А. Медведев, Ю. А. Пелеганчук, О. В. Кольтюгина, Ю. Г. Стурова, Т. А. Стопорева
Математическая обработка результатов оценки действия β -галактозидазы на гидролиз лактозы в молоке 163

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

А. А. Шматов, Мэй Шун Чи

Эксплуатационная оценка металлообрабатывающих инструментов и требования, предъявляемые к ним 170

Н. Г. Зубова

Физико-химические особенности модификации волокнистых материалов органическими аппретами 177

Ю. В. Капитонова, П. Н. Тарасова, Н. Н. Лазарева, А. А. Охлопкова, А. Г. Туисов, Р. В. Борисова

Влияние серпентина и шпинели магния на физико-механические и триботехнические свойства политетрафторэтилена 185

В. Е. Рогов, Л. А. Бохоева

Расплавные связующие для изделий из полимерных композиционных материалов 191

Г. Р. Бухалова, Л. В. Затонская

Исследование гуминовых и фульвокислот мумие по данным ИК-спектроскопии 197

Л. Н. Рубцова, В. В. Сорокин, Е. Ф. Касьяненко

Экстрагирование из твердых веществ 203

А. П. Лукьяненко, В. А. Сомин, Л. Ф. Комарова

Совершенствование технологии литья полимерных изделий под давлением ... 210

Е. Н. Неверов, А. Н. Горелкина, Р. Ю. Схаплок

Анализ современных методов и технологий промышленной водоочистки 215

Р. С. Доровских, А. Е. Пужайкина, А. С. Боченков, А. В. Шалунов, В. А. Нестеров

Излучатели для формирования высокоинтенсивных ультразвуковых колебаний в газовых средах различного назначения 226

А. Г. Соколов, Э. Э. Бобылёв, В. Д. Марченко

Влияние комплексной химико-термической обработки на коррозионную стойкость стальных изделий 238

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 245

CONTENTS

SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

<i>Yu. I. Matveev, E. V. Averyanova</i> Using analytical approaches to assess effect of lipids on digestion time of proteins and carbohydrates in food7	<i>N. L. Naumova, A. A. Lukin, E. A. Velisevich</i> Consumer properties and nutritional value winter apples 101
<i>A. I. Yashkin</i> Effect of lemon peel on organoleptic and technological indicators of ice cream quality ...13	<i>V. B. Mazalevskiy, S. K. Volonchuk, G. P. Cherkryga, S. V. Stankevich</i> Method of production of soft cheese with carrot powder of functional orientation 107
<i>I. A. Bakin, A. A. Makarova, Sh. V. Gasparyan</i> Stability analysis of technology for cleaning topinambur tubers21	<i>A. A. Ryadinskaya, I. A. Koshchayev, S. A. Chuev, K. V. Lavrinenko</i> Improving properties of pastille products by means of enrichment with iodine-containing raw materials 115
<i>A. S. Zakharova, S. I. Koneva, L. E. Meleshkina</i> Influence of unconventional raw materials on formation of quality and nutritional value of bakery products of functional purpose34	<i>S. I. Koneva, A. S. Zakharova, L. E. Meleshkina</i> Design the recipe and technology of bakery products using apiproducs 123
<i>S. A. Belina</i> Modeling of a complex food additive from arctic plant raw materials with antioxidant and immunocor-rective properties41	<i>G. A. Makarova, O. Yu.Mikhailova</i> Natural juices from introduced sorts of grape with white berries 129
<i>L. N. Krikunova, E. V. Dubinina, E. V. Ulianova, O. N.Obodeeva</i> Transformation of volatile components of fruit brandy during storage47	<i>V. P. Vistovskaya, E. P. Kamenskaya, D. S. Kozhemyakin, E. S. Dikalova</i> Development of a multienzymatic composition for brewer's spent grain hydrolysis through the use of mathematical modeling methods 134
<i>N. A. Velichko, E. V. Melnikova, E. N. Aeshina</i> Use of lingonberry pomace in recipes of chopped semi-finished chicken meat53	<i>D. V. Grashchenkov, A. V. Werner</i> Modern approaches to expansion product range by the method of design 142
<i>S. P. Merenkova, O. V. Zinina</i> Potential of using microemulsions as a bioactive component of food film materials58	<i>S. L. Tikhonov, N. V. Tihonova, I. G. Pestova, N. V. Merzlyakova</i> Classification and confirmation of antimicrobial activity of a food peptide in an in vitro experiment 150
<i>O. S. Yakubova, A. A. Bekesheva, O. V. Chugunova</i> Use of gelatin of various origins in the technology of finishing confectionery semi-finished products65	<i>A. A. Fedotov, N. E. Tagieva, A. V. Borisova</i> Increasing nutritional value of Italian bread with the introduction of flavonoid-containing additives of vegetable origins 156
<i>I. Yu. Reznichenko</i> Use of food additives and issues of their regulation in chips76	<i>A. A. Medvedev, Yu. A. Peleganchuk, O. V. Koltyugina, Yu. G. Sturova, T. A. Stoporeva</i> Mathematical processing of results evaluation of action of β-galactosidase on hydrolysis of lactose in milk 163
<i>T. V. Pershakova, G. A. Kupin, T. V. Yakovleva, V. N. Aleshin</i> Effect of biological and physical treatment on quality and loss of pears during storage83	
<i>E. M. Sevostianova, A. A. Shilkin</i> Identification of packed deep waters from Lake Baikal92	

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

<i>A. A. Shmatov, Mei Shunqi</i> Operational evaluation of metalworking tools and requirements for them	170
<i>N. G. Zubova</i> Physico-chemical features of modification of fibrous materials by organosilane finishes	177
<i>Iu. V. Kapitonova, P. N. Tarasova, N. N. Lazareva, A. A. Okhlopkova, A. G. Tuisov, R. V. Borisova</i> Influence of serpentine and magnesium spinel on physico-mechanical and tribotechnical properties of polytetrafluoroethylene	185
<i>V. E. Rogov, L. A. Bokhoeva</i> Melt binders for articles made of polymer composite materials	191
<i>G. R. Bukhalova, L. V. Zatonskaya</i> Investigation of humic and fulvic acids of mumiyo according to IR spectroscopy data	197
<i>L. N. Rubtsova, V. V. Sorokin, E. F. Kasyanenko</i> Extraction from solids	203
<i>A. P. Lukyanenko, V. A. Somin, L. F. Komarova</i> Improvement of polymer casting technology products under pressure	210
<i>E. N. Neverov, A. K. Gorelkina, R. Yu. Skhaplok</i> Analysis of modern methods and technologies of industrial water treatment	215
<i>R. S. Dorovskikh, A. E. Puzhaykina, A. S. Bochenkov, A. V. Shalunov, V. A. Nesterov</i> Emitters for the formation of high-intensity ultrasonic vibrations in gaseous media for various purposes	226
<i>A. G. Sokolov, E. E. Boblyov, V. D. Marchenko</i> Complex thermal-chemical treatment influence to corrosion resistance of steel products	238
AUTHOR'S INDEX	245



РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 612.322(045)

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.001



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЛИПИДОВ НА ВРЕМЯ ПЕРЕВАРИВАНИЯ БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ ПИЩИ

Юрий Игнатьевич Матвеев ¹, Елена Витальевна Аверьянова ²

¹ ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля» РАН, Москва, Россия

² Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия

¹ yu.matveev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4670-9846>

² averianova.ev@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Аннотация. В связи с тем, что основные процессы пищеварения – протеолиз молекул белков и гидролиз углеводов – под действием ферментов протекают в условиях присутствия других компонентов пищи (липидов, минеральных добавок и др.), некоторые из которых существенно влияют на время переваривания, в статье рассмотрено действие одного из таких факторов – влияние липидов на время переваривания белков и углеводов. Аналитическое описание таких процессов представляет существенный интерес, например, при разработке диет, позволяя оптимизировать работу желудочно-кишечного тракта и принести максимальную пользу организму человека при усвоении определенного набора пищевых веществ. Поэтому проблема управления продолжительностью переваривания пищи в желудочно-кишечном тракте в зависимости от ее состава и соотношения компонентов приобретает все более актуальное значение. Материалом исследования послужили аналитические данные по содержанию белков, жиров и углеводов в основных группах продуктов питания и их времени переваривания в желудочно-кишечном тракте, а также данные о механизме влияния липидов на скорость гидролиза белков и углеводов. Показано, что повышенное содержание жиров приводит к резкому росту времени переваривания белка, содержащегося в продукте, и к соответствующим последствиям, связанным с их метаболизмом в организме человека. В то время как для углеводов, содержащихся в растительной пище, влияние липидов на их время переваривания менее выражено и его увеличение несущественно. На основании оптимума по содержанию жира, который приходится на крупы, предложено условно разделить продукты питания на две категории по времени усвоения круп в желудочно-кишечном тракте. Предлагаемый подход показывает, что жиры оказывают существенное влияние на процесс переваривания макронутриентов и учет их содержания в соответствующих пищевых продуктах может быть использован как один из критериев при разработке диет для разных групп населения с учетом возраста, физической нагрузки и других факторов, а также при реализации различных пищевых технологий.

Ключевые слова: белки, углеводы, жиры, время переваривания, температура перехода, функции пластификации, порядок агрегации, диета.

Для цитирования: Матвеев Ю. И., Аверьянова Е. В. Использование аналитических подходов для оценки влияния липидов на время переваривания белков и углеводов пищи // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 7–12. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.001. EDN: <https://elibrary.ru/RYPJSR>.

USING ANALYTICAL APPROACHES TO ASSESS EFFECT OF LIPIDS ON DIGESTION TIME OF PROTEINS AND CARBOHYDRATES IN FOOD

Yuri I. Matveev ¹, Elena V. Averyanova ²

¹ Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Biysk Technological Institute (branch) of the Polzunov Altai State Technical University, Biysk, Russia

¹ yu.matveev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4670-9846>

² averianova.ev@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Abstract. Due to the fact that the main processes of digestion – proteolysis of protein molecules and hydrolysis of carbohydrates under the action of enzymes occur in the presence of other food components (lipids, mineral additives, etc.), some of which significantly affect the digestion time, the article considers the effect of one of these factors – the effect of lipids on the time digestion of proteins and carbohydrates. The analytical description of such processes is of significant interest, for example, in the development of diets, allowing to optimize the work of the gastrointestinal tract and bring maximum benefit to the human body when assimilating a certain set of nutrients. Therefore, the problem of managing the duration of digestion of food in the gastrointestinal tract, depending on its composition and the ratio of components, is becoming increasingly relevant. The research material was analytical data on the content of proteins, fats and carbohydrates in the main food groups and their digestion time in the gastrointestinal tract, as well as data on the mechanism of action of lipids on the rate of hydrolysis of proteins and carbohydrates. Based on the results of the review of the mechanism of action of food lipids on the rate of hydrolysis of proteins and carbohydrates in the gastrointestinal tract, it is shown that an increased fat content leads to a sharp increase in the digestion time of the protein contained in the product and to the corresponding consequences associated with their metabolism in the human body. While for carbohydrates contained in plant foods, the effect of lipids on their digestion time is less pronounced and its increase is insignificant. Based on the optimum fat content, which falls on cereals, it is proposed to conditionally divide food into two categories according to the time of assimilation of cereals in the gastrointestinal tract. The proposed approach shows that fats have a significant impact on the process of digestion of food substances and taking into account their content in the relevant products can be used as one of the criteria in the development of food diets for different population groups, taking into account age, physical activity, etc. and in the implementation of various food technologies.

Keywords: proteins, carbohydrates, fats, digestion time, transition temperature, plasticization functions, aggregation order, diet.

For citation: Matveev, Yu. I. & Averyanova, E. V. (2023). Using analytical approaches to assess effect of lipids on digestion time of proteins and carbohydrates in food. Polzunovskiy vestnik, (3), 7-12. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.001. EDN: <https://elibrary.ru/RYPJSR>.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы, протекающие в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), на протяжении многих лет являются предметом исследования не только медицины, но и ряда естественных наук: биологии, физики, химии, а также технических наук: пищевых технологий и пищевой инженерии.

Так как процесс пищеварения (протеолиз молекул белков и гидролиз углеводов под действием ферментов) протекает в условиях

присутствия других компонентов пищи (липидов, минеральных добавок и др.), некоторые из которых существенно влияют на $T_{пер}$, рассмотрим действие одного из таких факторов – влияние липидов на $T_{пер}$ белков и углеводов.

Как известно, различные виды пищи имеют разное время переваривания, начиная от 30 мин и заканчивая 360 мин. При этом время переваривания пищи в желудке $T_{пер}$ зависит от конкретного вида продуктов питания (табл. 1), содержания в них жиров и способов их приготовления [1, 2].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЛИПИДОВ НА ВРЕМЯ ПЕРЕВАРИВАНИЯ БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ ПИЩИ

Белки, взаимодействуя с липидами, способны влиять на липолиз триглицеридов [3, 4] и ингибировать липазу поджелудочной железы, в том числе за счет проявления эмульгирующих свойств [5, 6]. При этом белки с большой молекулярной массой обладают более выраженной склонностью к абсорбции в ЖКТ, чем белки с меньшей молекулярной массой [3]. Аналогичным образом липиды влияют на ферменты белков и углеводов пищи, а также способны блокировать аминокислотные остатки белков и углеводы пищи, на которые воздействуют ферменты. В результате гидролиза белков в ЖКТ и расщепления их до полипептидов, белковые молекулы теряют способность к ингибированию пищеварительных ферментов.

Рассмотрим механизм действия липидов на скорость гидролиза белков и углеводов. В качестве исходных данных используем результаты экспериментальных исследований, приведенных в [3–6].

Таблица 1 – Содержание белков, жиров и углеводов в пищевых веществах и их время переваривания $T_{пер}$ [8, 9]

Table 1 – Proteins, fats and carbohydrates content and their digestion time T_{dis} [8, 9]

Наименование продукта	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %	Время переваривания $T_{пер}$, мин
Свинина	14,6–16,4	27,8–33,0	0	360
Говядина, баранина	16,3–18,9	12,4–15,3	0	240
Курица	24,7	12,6	0	180
Крупы	10,1–12,5	1,6–3,8	57,8–70,9	120
Молочные продукты	2,5–4,0	3,0–5,0	4,8–19,6	120
Филе рыбы	7,0–23,0	2,0–34,0*	0	60
Яйца	12,7	11,5	0	45
Овощи, фрукты	0,3–5,0	0,1–0,65	2,3–19,7	30–40

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Об агрегации в бинарных биополимерных системах. В природе широко распространены бинарные биополимерные системы на основе белок-белковых и белок-углеводных взаимодействий. При этом протекающие в них процессы (например, гидролиза, когда один из белков является ферментом) под действием различных внешних факторов или веществ, представляют практический интерес не только для самих биологических систем как пример саморегулирования, но и для процессов пищеварения.

Как показывают данные по содержанию основных макронутриентов (табл. 1), повышенное содержание жиров в пищевом продукте приводит к росту его $T_{пер}$.

Рассматривая систему белок-фермент

МЕТОДОЛГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом исследования послужили доступные аналитические данные по содержанию белков, жиров и углеводов в основных группах продуктов питания и их времени переваривания в ЖКТ, представленные в таблице 1, а также данные о механизме действия липидов на скорость гидролиза белков и углеводов.

Аналитическое описание таких процессов представляет существенный интерес как в случае медицины (например, при разработке лекарств для замедления развития катаракты [7]), так и в случае пищевых наук – при разработке диет, которые позволяют оптимизировать работу ЖКТ и принести максимальную пользу организму человека при усвоении определенного набора пищевых веществ.

и/или углевод-фермент как элемент бинарной системы, образованной ею и молекулами жира, оценим, какое влияние на скорость гидролиза оказывает агрегация подобных систем с молекулами жира. Для определения начальной скорости агрегации (в данном случае скорости гидролиза) v как функции x (соотношение концентраций компонентов бинарной системы) предложено [7] выражение:

$$\left(\frac{v}{v_0}\right)^{1/n} = 1 - 24,85(1 - 0,9525(1 + 0,113x - 0,27x^2)) \times \frac{x}{1+x}, \quad (1)$$

где v_0 – начальная скорость агрегации (гидролиза) при $x = 0$, n – порядок агрегации, который, согласно [2], равен $n = 5,5$; $x = [\text{жир}]/[\text{белок(углевод)} + \text{фермент}]$; $[\text{жир}]$ и $[\text{белок(углевод)} + \text{фермент}]$ – концентрации жира и (белка (или углевода) + фермента) в

соответствующем продукте; v_0 – скорость агрегации белков (углеводов) и ферментов при отсутствии жиров.

Для продуктов питания, предложенных в таблице 1, рассчитаем их время пребывания в ЖКТ, используя уравнение (1).

О влиянии липидов на эффективность воздействия ферментов на белки и углеводы. Как показывают исследования по определению времени переваривания продуктов $T_{пер}$ (*digestion time of food*), представленных в таблице 1, по мере возрастания содержания жиров в исходном продукте происходит рост $T_{пер}$. Этот факт обусловлен связыванием липидов с молекулами белков и частичным блокированием действия протеаз [3–6, 10]. Таким образом, взаимодействие между белками и липидами

меняет картину гидролиза и должно учитываться в любой модели пищеварения.

Выполним ряд оценок влияния липидов на скорость агрегации v белков (углеводов) и ферментов с помощью выражения (1). При оценках будем полагать, что концентрация [белка (углевода) + фермента] ~ 5 [белка (углевода)]. Принятое соотношение обеспечивает более или менее разумные значения эффекта, и при необходимости его можно уточнить.

В таблице 2 представлены результаты расчета времени переваривания продуктов в отсутствие жиров – $(T_{пер})_0$ в соответствии с формулой (2).

$$(v \times T_{пер}) / (v_0 \times T_{пер,0}) \sim 1. \quad (2)$$

Таблица 2 – Влияние жиров на время переваривания $T_{пер}$ продукта

Table 2 – Effect of fats on the digestion time of the product T_{dis}

Наименование продукта	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %	v/v_0	$T_{пер}$, мин	$(T_{пер})_0$, мин
Овощи, фрукты	0,3–5,0	0,1–0,65	2,3–19,7	0,43	40	13
Яйца	12,7	11,5	0,0	0,45	45	20
Крупы (пшеница твердая)	12,5	1,9	6,0–7,5	0,84	120	100
Свинина	14,6–16,4	27,8–33,0	0,0	0,14	360	50

Примечание. В случае изменения содержания белков, жиров и углеводов в определенных пределах при оценке $(T_{пер})_0$, были использованы средние значения

Согласно данным таблицы 2, повышенное содержание жиров (например, в мясе свинины) приводит к резкому росту времени переваривания белков, содержащихся в продукте, и к соответствующим последствиям, связанным с их метаболизмом в организме человека.

Для углеводов, содержащихся в растительной пище (пшеничная крупа, овощи и фрукты), влияние липидов на их время переваривания менее выражено, и увеличение составляет 4–5 мин. Кроме того доказано, что белки, адсорбируясь на поверхности жировых капель, препятствуют гидролизу жиров липазой поджелудочной железы [3, 4].

Приведенные в таблице 2 значения $(T_{пер})_0$ показывают, что у рассмотренных продуктов имеется оптимум по содержанию жира, который приходится на крупы, т.е. крупы по времени их усвоения в ЖКТ условно делят продукты питания на две категории. Если обратиться к принятым в настоящее время диетам (Западной и Средиземноморской), то рассчитанное значение $(T_{пер})_0$ позволяет определить количественную базу под отбор

тех продуктов, которые могут быть отнесены к Средиземноморской диете (*Mediterranean diet*) и которая, по мнению медиков и диетологов, является наиболее «здоровой» для ЖКТ человека, обеспечивая хорошее самочувствие и оптимальный вес тела, существенно уменьшая образование токсичных веществ в организме, предотвращая воспалительные процессы и онкологические заболевания [11, 12].

Если допустить, что распределение $T_{пер}$ подчиняется нормальному закону, то можно определить границы отбора продуктов по среднему квадратичному отклонению σ . При $\langle T_{пер} \rangle = 120$ мин нижний предел $(T_{пер})_{min}$ составит 30 мин, из выражения $(T_{пер})_{min} = \langle T_{пер} \rangle - 3\sigma$ получим $\sigma = 30$ мин, а верхний предел $(T_{пер})_{max} = \langle T_{пер} \rangle + 3\sigma = 210$ мин, т.е. мясо птицы попадает в доверительный интервал Средиземноморской диеты.

Особо следует обратить внимание на мясо свинины, у которого $(T_{пер})_0$ составляет 50 мин. Это означает, что при соответствующей подготовке мяса и кулинарной обработке

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЛИПИДОВ НА ВРЕМЯ ПЕРЕВАРИВАНИЯ БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ ПИЩИ

(например, удалении определенного количества жира) оно также может быть использовано в составлении рационов Средиземноморской диеты.

Относительно полученного доверительного интервала и соответствующему ему набору продуктов следует отметить, что Средиземноморская диета не исключает использование мясных продуктов. Например, для растущего организма и людей, занятых физическим трудом, необходимо использовать продукты с $\langle T_{пер} \rangle \leq T_{пер} \leq \langle T_{пер} \rangle + 3\sigma$, то для геродиетического питания рекомендуются продукты с $\langle T_{пер} \rangle \geq T_{пер} \geq \langle T_{пер} \rangle - 3\sigma$.

ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам проведенных расчетов выявлено, что скорость движения пищи в ЖКТ влияет на протекающие в кишечнике метаболические процессы. В этом плане Западная диета (*Western diet*), которой придерживается большинство населения земного шара, предполагает потребление в больших количествах мяса, яиц, жареной и соленой пищи, хлеба, жирных молочных продуктов, сладких десертов и напитков, чипсов, что не способствует сохранению и укреплению здоровья, и в последние десятилетия привело к росту количества людей с избыточным весом (порядка двух миллиардов, и их число постоянно растет). Лишний вес является одной из причин роста воспалительных и функциональных заболеваний ЖКТ, сердечнососудистой системы, эндокринных и легочных патологий, увеличивает риск возникновения злокачественных новообразований.

Средиземноморская диета, построенная на принципах употребления сложных углеводов, клетчатки и растительных жиров, необработанных пищевых продуктов, напротив, снижает вероятность негативных последствий для здоровья, и является профилактикой хронических неинфекционных заболеваний. При этом средиземноморская диета предполагает определенную технологию приготовления пищи и налагает ряд требований к продукции пищевой промышленности.

И если ранее при исследовании процессов пищеварения в ЖКТ в основном ограничивались процессами гидролиза белков и углеводов пищеварительными ферментами, то предлагаемый подход показывает, что жиры оказывают существенное влияние на процесс переваривания пищевых веществ и учет их содержания в продуктах питания может быть использован как один из критериев при разработке пищевых диет и при реализации различных пищевых технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долматова И.А., Зайцева Т.Н., Рябова В.Ф. Физиологические эффекты пищевых веществ // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2019. Т. 10, №1. С. 139–142.
2. Current in vitro digestion systems for understanding food digestion in human upper gastrointestinal tract / C. Li [et al.] // Trends in Food Science and Technology. 2020. Vol. 96. P. 114–126. doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.015.
3. Influence of emulsifier structure on lipid bioaccessibility in oil-water nanoemulsions / A. Speranza [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2013. Vol. 61, № 26. P. 6505–6515. doi.org/10.1021/jf401548r.
4. Impact of different biopolymer networks on the digestion of gastric structured emulsions / T.J. Wooster [et al.] // Food Hydrocolloids. 2014. Vol. 36. P. 102–114. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.009.
5. Inhibition of lipases by proteins. A kinetic study with dicaprin monolayers / Y. Gargouri [et al.] // Journal of Biological Chemistry. 1985. Vol. 260, № 4. P. 2268–2273. doi.org/10.1016/S0021-9258(18)89549-7.
6. Inhibition of lipases by proteins: a binding study using dicaprin monolayers / Y. Gargouri [et al.] // Biochemistry. 1986. Vol. 25, № 7. P. 1733–1738. doi.org/10.1021/bi00355a043.
7. Матвеев Ю.И., Аверьянова Е.В. Об агрегации в бинарных биополимерных системах // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10, № 2. С. 223–231. doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-2-223-231.
8. Скурихин И.М., Нечаев А.П. Все о пище с точки зрения химика. Москва: Высшая школа, 1991. 288 с.
9. Омаров Р.С., Сычева О.В. Основы рационального питания. Москва-Берлин: Directmedia, 2015. 78 с.
10. Adamberg K., Adamberg S. Selection of fast and slow growing bacteria from fecal microbiota using continuous culture with changing dilution rate // Microbial Ecology in Health and Disease. 2018. Vol. 29, № 1. P. 1–12. doi.org/10.1080/16512235.2018.1549922.
11. Акашева Д.У., Драпкина О.М. Средиземноморская диета: история, основные компоненты, доказательства пользы и возможность применения в российской реальности // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2020. Т. 16, № 2. С. 307–316. doi:10.20996/1819-6446-2020-04-03.
12. Ткачева Н., Елисеева Т. Средиземноморская диета – научное обоснование, доказанная польза для здоровья, преимущества и недостатки // Журнал здорового питания и диетологии. 2020. № 14. С. 72–80.

Информация об авторах

Ю. И. Матвеев – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник наук ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля» РАН.

Е. В. Аверьянова – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии

Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

REFERENCES

1. Dolmatova, I.A., Zaytseva, T.N. & Ryabova, V.F. (2019). Fiziologicheskie efekty pishchevykh veshchestv. *Aktual'nye problem sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya*, 10(1), 139-142. (In Russ.).
2. Li, C., Yu, W., Wu, P. & Chen, X.D. (2020). Current in vitro digestion systems for understanding food digestion in human upper gastrointestinal tract. *Trends in Food Science & Technology*, (96), 114-126. doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.015.
3. Speranza, A., Corradini, M.G., Hartman, T.G., Ribnicky, D., Oren, A. & Rogers, M.A. (2013). Influence of emulsifier structure on lipid bioaccessibility in oil-water nanoemulsions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(26), 6505-6515. doi.org/10.1021/jf401548r.
4. Wooster, T.J., Day, L., Xu, M., Golding, M., Oiseth, S., Keogh, J. & Clifton, P. (2014). Impact of different biopolymer networks on the digestion of gastric structured emulsions. *Food Hydrocolloids*, (36), 102-114. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.009.
5. Gargouri, Y., Pieroni, G., Riviere, C., Sugihara, A., Sarda, L. & Verger, R. (1985). Inhibition of lipases by proteins. A kinetic study with dicaprin monolayers. *Journal of Biological Chemistry*, 260(4), 2268-2273. doi.org/10.1016/S0021-9258(18)89549-7.
6. Gargouri, Y., Pieroni, G., Riviere, C., Sarda, L. & Verger, R. (1986). Inhibition of lipases by proteins: a binding study using dicaprin monolayers. *Biochemistry*, 25(7), 1733-1738. doi.org/10.1021/bi00355a043.
7. Matveev, Yu.I. & Aver'yanova, E.V. (2020). Ob agregatsii v binarnykh biopolimernykh sistemakh. *Izv. vuzov. Prikl. khimiya i biotekhnologiya*, 10(2), 223-231. (In Russ.). doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-2-223-231.
8. Skurikhin, I.M. & Nechaev, A.P. (1991). Vse o pishche s toчки zreniya khimika: *Handbook*. Moscow: Vysshaya shkola, 288. (In Russ.).
9. Omarov, R.S. & Sycheva, O.V. (2015). *Osnovy ratsional'nogo pitaniya*. Moskva-Berlin: Directmedia, 78. (In Russ.).
10. Adamberg, K. & Adamberg, S. (2018). Selection of fast and slow growing bacteria from fecal microbiota using continuous culture with changing dilution rate. *Microbial ecology in health and disease*, 29(1), 1549922. doi.org/10.1080/16512235.2018.1549922.
11. Akasheva, D.U. & Drapkina, O.M. (2020). Sredizemnomorskaya dieta: istoriya, osnovnye komponenty, dokazatel'stva pol'zy i vozmozhnost' primeneniya v rossiyskoy real'nosti. *Ratsional'naya farmakoterapiya v kardiologii*, 16(2), 307-316. (In Russ.). doi:10.20996/1819-6446-2020-04-03.
12. Tkacheva, N. & Eliseeva, T. (2020). Sredizemnomorskaya dieta – nauchnoe obosnovanie, dokazannaya pol'za dlya zdorov'ya, preimushchestva i nedostatki. *Zhurnal zdorovogo pitaniya i dietologii*, (14), 72-80. (In Russ.).

Information about the authors

Yu. I. Matveev - Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Senior Researcher Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences.

E. V. Averyanova - Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology of the Biysk Technological Institute (branch) of the Polzunov Altai State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.674

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.002



ВЛИЯНИЕ ЦЕДРЫ ЛИМОНА НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОРОЖЕНОГО

Александр Иванович Яшкин

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия
yashkin@asau.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9244-6613>

Аннотация. Производство мороженого с заданной структурой продукта достигается использованием комплексных пищевых добавок, объединяющих в себе эмульгаторы и стабилизаторы консистенции. Актуальность проводимых исследований обусловлена поиском природных источников стабилизаторов, способных наряду с обеспечением требуемых органолептических показателей продукта повысить его пищевую и биологическую ценность. К числу нативных источников стабилизатора пектин (E440) следует отнести цедру (флаведо) плодов цитрусовых – вторичного пищевого сырья от производства соковой продукции. Целью работы являлось исследование технологических и органолептических показателей качества мороженого при использовании в его составе сухой измельченной цедры лимона. Объект исследования – мороженое с массовой долей жира 10 % с дополнительно введенной подготовленной цедрой лимона в количестве 1 % и 2 % от массы сырья. Использование цедры в изучаемых дозировках приводит к статистически значимому повышению уровня титруемой кислотности мороженого (в 1,4–1,5 раза, $p < 0.05$). Установлена более высокая степень насыщения замороженной смеси воздухом: взбитость мороженого с цедрой превысила контрольное значение на 24,4–31,3 % ($p < 0.01$). Отмечено положительное влияние лимонной цедры (2 % от массы) на стабильность структуры продукта за счет сокращения скорости таяния образцов мороженого на 9,5–11,0 % ($p < 0.05$). Анализ сенсорного профиля мороженого показал существенное снижение интенсивности восприятия дегустиаторами сладкого и сливочного вкусов в образцах с цитрусовым компонентом ($p < 0.01$) на фоне усиления лимонного вкуса в сочетании с горечью ($p < 0.01$). Обоснованной дозировкой введения цедры лимона в состав смеси мороженого с массовой долей жира 10 % является 1 % от массы сырья, что подтверждается совокупностью органолептических и технологических показателей продукта. Полученные результаты могут быть востребованы при разработке промышленной технологии мороженого с нативными пищевыми источниками пектиновых веществ.

Ключевые слова: мороженое, цитрусовые, цедра лимона, флаведо, пищевые волокна, стабилизаторы, пектин, взбитость мороженого, термоустойчивость мороженого, органолептические показатели, профиль флейвора.

Для цитирования: Яшкин А. И. Влияние цедры лимона на органолептические и технологические показатели качества мороженого // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 13–20. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.002. EDN: <https://elibrary.ru/RBLNHX>.

Original article

EFFECT OF LEMON PEEL ON ORGANOLEPTIC AND TECHNOLOGICAL INDICATORS OF ICE CREAM QUALITY

Alexander I. Yashkin

Altai state agricultural university, Barnaul, Russia
yashkin@asau.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9244-6613>

© Яшкин А. И., 2023

Abstract. The production of ice cream with a required product structure is achieved by using complex food additives that combine emulsifiers and consistency stabilizers. The relevance of the research is due to the search for natural sources of stabilizers that can, along with providing the required organoleptic characteristics of the product, increase its nutritional and biological value. Among the native sources of the pectin stabilizer (E440) should be attributed the peel (flavedo) of citrus fruits – secondary food raw materials from the production of juice. The aim of the work was to study the technological and organoleptic indicators of the quality of ice cream when using dry powdered lemon peel in its composition. The object of the study is ice cream with a mass fraction of fat of 10% with additionally introduced prepared lemon peel in the amount of 1% and 2% by weight of raw materials. The use of peel leads to a statistically significant increase in the level of titrated acidity of ice cream (by 1.4-1.5 times, $p < 0.05$). A higher degree of saturation of the frozen mixture with air was established: the whipping of ice cream with peel exceeded the control value by 24.4-31.3% ($p < 0.01$). The positive effect of lemon peel (2% by weight) was noted the stability of the product structure by reducing the melting rate of ice cream samples by 9.5-11.0% ($p < 0.05$). The analysis of the sensory profile of ice cream demonstrated a significant decrease in the intensity of perception of sweetness and creamy taste in samples with a citrus component ($p < 0.01$) against the background of an increase in lemon flavor combined with bitterness ($p < 0.01$) depending on the dosage of lemon flavedo in the product. A justified dosage for the introduction of lemon peel into the composition of an ice cream mixture with a mass fraction of fat of 10% is 1% of the mass of raw materials, which is confirmed by the totality of organoleptic and technological indicators of the product. The obtained results may be in demand in the development of industrial technology of ice cream with native food-flavored sources of pectin substances.

Keywords: ice cream, citrus fruits, lemon peel, flavedo, dietary fiber, stabilizers, pectin, ice cream whipping, ice cream heat resistance, organoleptic parameters, flavor profile.

For citation: Yashkin, A. I. (2023). Effect of lemon peel on organoleptic and technological indicators of ice cream quality. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 13-20. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.002. EDN: <https://elibrary.ru/RBLNHX>.

ВВЕДЕНИЕ

Обогащение мороженого эссенциальными нутриентами обычно достигается использованием в составе смесей различных фруктов, ягод и других пищевых наполнителей из растительного сырья [1]. При этом формирование органолептических свойств мороженого, в том числе консистенции продукта, обеспечивается целенаправленным применением стабилизационных систем, объединяющих эмульгаторы и стабилизаторы. Механизм формирования стабильной консистенции продукта основан на изменении некоторых технологических свойств в процессе замораживания многокомпонентной смеси, главным образом за счет повышения дисперсности воздушной фазы и замедления роста кристаллов льда [2].

Интерес к использованию нативных источников стабилизаторов в рецептурах мороженого продиктован активным запросом потребителей на натуральный продукт с «чистой этикеткой». Однако такой подход нашел отклик у малого числа производителей мороженого ввиду технологической сложности при работе с подобными ингредиентами и высокой частоты появления пороков вкуса и запаха [3]. Ценным источником стабилизатора пектина, а также

витаминов, клетчатки и ряда других биологически активных соединений [4] является цедра плодов цитрусовых, представляющая собой наружный окрашенный слой (флаведо) околоплодника плода [5]. Будучи вторичным сырьем от переработки плодов цитрусовых культур, цедра не получила широкого распространения в пищевой промышленности и ограничено направляется на корм животным и другие цели [6].

Флаведо плодов цитрусовых как пищевой ингредиент используется в производстве кондитерских изделий, джемов, молочных продуктов и напитков [7–10]. Основу современных представлений о применении цедры в производстве мороженого составляют немногочисленные зарубежные исследования, доказавшие функциональные свойства обогащенного мороженого [11]. Сообщается о позитивном влиянии эфирных масел цедры на снижение количества дрожжей и общего микробного числа продуктов [12]. Показана возможность имитации сенсорного ощущения сливочности за счет внесенной цедры в мороженое с пониженной массовой долей жира [13]. Однако доступные сведения о механизмах взаимодействия компонентов флаведо плодов цитрусовых с молочным сырьем, особенно при низкотемпературной обработке, не позволяют с до-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2023

ВЛИЯНИЕ ЦЕДРЫ ЛИМОНА НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОРОЖЕНОГО

статочной полнотой судить о характере формирования отдельных свойств мороженого, что требует проведения дальнейших исследований в данной области.

В настоящей работе показано изменение ряда показателей качества мороженого при использовании в составе продукта высушенной цедры лимона (*Citruslimon (L.) Burm. f.*) в количестве 1 % и 2 % от массы. Выявлено существенное повышение уровня титруемой кислотности смеси мороженого за счет вносимого ингредиента в изучаемых дозировках. На фоне использования цедры отмечено улучшение показателя взбитости и термостойкости готового продукта. Построен органолептический профиль мороженого, отражающий интенсивность восприятия дегустаторами ключевых дескрипторов продукта. Цель работы – исследовать некоторые технологические и органолептические показатели, характеризующие качество мороженого, при использовании в его составе сухой измельченной цедры лимона.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для производства мороженого использовано молоко коровье по ГОСТ 31449 (массовая доля жира 3,9 %), сливки-сырье по ГОСТ 34355 (массовая доля жира 35 %), молоко сгущенное с сахаром по ГОСТ 31688, молоко сухое цельное по ГОСТ 33629 (массовая доля жира 26 %), сахар белый по ГОСТ 33222. Для целей исследований использована коммерческая цедра лимона («Kotanyi GmbH», Австрия). До внесения в молочную смесь цедру подвергали дополнительному измельчению до частиц размером 0,3–0,9 мм с целью повышения степени дисперсности пищевкусового компонента в составе мороженого. Подготовленная цедра представляла собой тонко измельченное флаведо околоплодника лимона от кремового до коричневого цвета с характерным лимонным ароматом и выраженным горьким вкусом (рис. 1).

Образцы мороженого всех вариантов вырабатывали следующим образом: проводили подготовку смеси, включая смешивание ингредиентов согласно рецептурному варианту, подогрев до 40–45 °С и фильтрование смеси, далее вносили расчетное количество подготовленной цедры и полученную смесь направляли на пастеризацию при 82 °С с выдержкой 50 сек., гомогенизацию при 74 °С с давлением 14 МПа. Далее смесь всех вариантов охлаждали до 2–4 °С, подвергали созреванию при той же температуре в течение 18 ч и фризерованию до минус 5–6 °С. Мороженое фасовали в полимерные стаканчики,

подвергали закаливанию при минус 30 °С в течение 48 ч. До момента исследований продукт хранили в камере при минус 18 °С.



Рисунок 1 – Внешний вид применяемой цедры лимона

Figure 1 – Appearance of the applied lemon peel

Органолептические показатели мороженого определяли методом дегустации с применением профильно-дескрипторного анализа флейвора продукта по 10-балльной шкале. Мету согласованности оценок дегустаторов определяли по коэффициенту конкордации (согласия) по формуле (1):

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3-n) - m \sum T_i^2} \quad (1)$$

где S – сумма квадратов отклонений суммы рангов каждого показателя качества от среднего арифметического ранга; T_i – число связей в оценках i-го эксперта; n – количество экспертов; m – количество показателей.

Общее содержание сухих веществ в мороженом определено по ГОСТ 3626 методом высушивания образцов продукта при 100–105 °С до постоянной массы, расчет сделан по формуле (2):

$$C = \frac{(m_1 - m_0) \cdot 100}{m - m_0} \quad (2)$$

где m_0 – масса пустой бюксы, г; m – масса бюксы с мороженым до высушивания, г; m_1 – масса бюксы с мороженым после высушивания, г.

Уровень титруемой кислотности определен по ГОСТ 3624 потенциметрическим методом путем нейтрализации кислот продукта раствором гидроксида натрия до pH = 8,9. Активная кислотность определена с помощью pH-метра по ГОСТ 32892. Массовую долю жира определяли по ГОСТ 5867 кислотным методом с последующим центрифугированием. Взбитость мороженого определена согласно приложению «Г» ГОСТ 31457 путем

взвешивания массы смеси фиксированного объема до фризирования и при выходе из фризера, расчет сделан по формуле (3):

$$B = \frac{(M_2 - M_3) \cdot 100}{M_3 - M_1}, \quad (3)$$

где M_2 – масса стакана со смесью, г; M_3 – масса стакана с мороженым, г; M_1 – масса пустого стакана, г.

Термоустойчивость мороженого определена по количеству плава (%), полученного в результате экспозиции образцов продукта в термостате при $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$., расчет сделан по формуле (4):

$$T = \frac{(m_1 - m_0) \cdot 100}{m}, \quad (4)$$

где m_0 – масса пустой чашки, г; m – масса мороженого, г; m_1 – масса плава мороженого, г.

Статистическую и графическую обработку полученных данных вели с использованием программы Microsoft Excel. Достоверность результатов исследований подтверждается не менее чем трехкратной повторностью их проведения ($n = 3$); различия результатов между показателями считались статистически значимыми при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Объектом исследования являлось мороженое с массовой долей жира 10 %, сахара 12 % и сухого обезжиренного остатка 10 % (далее – вариант «Control») с дополнительно введенной цедрой лимона в количестве 1 % и 2 % (обозначение вариантов как «1 % Lemon Peel» и «2 % Lemon Peel» соответственно). Основным ограничением для внесения цедры в большем количестве выступил рост горечи во вкусе и снижение дисперсности частиц цедры в структуре продукта, отмеченные в ходе предварительного эксперимента. Полученные опытные образцы мороженого сопоставляли с контрольным рецептурным вариантом, не содержащим цитрусового компонента (табл. 1). Согласно проведенных расчетов, различия по пищевой ценности смесей для мороженого были минимальными: массовая доля жира по вариан-

там находилась в диапазоне 10,2–10,5 %, массовая доля СОМО – 9,9–11,1 %.

Таблица 1 – Рецептуры мороженого

Table 1 – Ice cream recipes

Ингредиент смеси	Количество, кг/т		
	Рецептурный вариант		
	Control	1 % Lemon Peel	2 % Lemon Peel
Молоко	502	493	489
Сливки	198	197	195
Молоко сгущенное	51	50	50
Молоко сухое цельное	64	64	65
Сахар-песок	100	100	97
Цедра лимона сухая	x	10	20
Вода	до 1000		

В работе изучены следующие показатели качества продукта: содержание сухих веществ, уровень активной и титруемой кислотности, показатели взбитости (насыщенности воздухом) и устойчивости к таянию, органолептические свойства мороженого. Изучение титруемой кислотности позволило установить статистически значимое влияние ($p < 0.05$) внесения цедры лимона в смесь на изменение данного показателя мороженого. Использование цедры в изучаемых дозировках повысило кислотность продукта в 1,4–1,5 раза до 26–28°Т, что, однако, не превышало норматив стандарта для мороженого с пищевкусовыми продуктами (табл. 2). Сообразно росту титруемой кислотности рН смеси закономерно снижался с 7,0 до 6,7–6,9 единиц в экспериментальных образцах с цедрой ввиду содержания в ней органических кислот, прежде всего, лимонной, аскорбиновой и яблочной [6]. Работы других авторов [12] демонстрируют более выраженное (до 6,4 ед.) снижение уровня рН мороженого с цедрой цитрусовых.

Таблица 2 – Химический состав и кислотность образцов мороженого ($n = 3$)*

Table 2 – Chemical composition and acidity of ice cream samples ($n=3$) *

Рецептурный вариант	Массовая доля сухого вещества, %	Массовая доля жира, %	Титруемая кислотность, °Т	Активная кислотность, рН
Control	32,5±1,35 ^A	10,4±0,12 ^A	18±1,4 ^B	7,0±0,06 ^A
1 % Lemon Peel	32,9±1,58 ^A	10,3±0,19 ^A	26±1,2 ^A	6,9±0,07 ^A
2 % Lemon Peel	33,3±0,22 ^A	10,2±0,15 ^A	28±1,2 ^A	6,7±0,09 ^A
P-value	0.59	0.37	0.02 ^{A-B}	0.07

* различия в значениях показателей с разными надстрочными буквами (^{A-B}) в пределах одного столбца считались статистически значимыми при $p < 0.05$

ВЛИЯНИЕ ЦЕДРЫ ЛИМОНА НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОРОЖЕНОГО

В обеспечении формирования стабильной структуры и консистенции мороженого важная роль принадлежит дисперсности воздушной фазы, которая напрямую зависит от концентрации сухих веществ в продукте [14]. В присутствии кислот и сахаров высокоэтерифицированный цитрусовый пектин сохраняет способность формирования стабильных гелей в водной среде и комплексообразования с ионами металлов [15]. Результаты определения взбитости мороженого, полученного без принудительной подачи воздуха во фризера, подтвердили возможность эффективного насыщения замороженной смеси воздухом и стабилизации пены опытных образцов продукта. Различия по взбитости образцов с цедрой к уровню контрольного варианта достигли 24,4–31,3 % ($p < 0.01$), при этом двукратный рост концентрации флаведа в смеси не обеспечил статистически значимого роста указанного показателя ($p > 0.05$) (рис. 2).

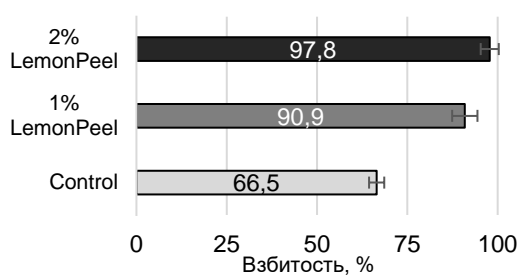


Рисунок 2 – Взбитость мороженого (n = 3)

Figure 2 – Ice cream whipping (n=3)

Более низкая взбитость обычно выражается в повышении твердости мороженого в результате формирования более крупных кристаллов льда, что не было подтверждено нами в ходе органолептических исследова-

ний. Использование эмульгаторов и стабилизаторов, в том числе пектина и продуктов, его содержащих, повышает дисперсность кристаллов льда и замедляет их рост в процессе низкотемпературного хранения [16], несмотря на снижение концентрации пектиновых веществ в сырье при замораживании [17].

Продемонстрирована тенденция к повышению сопротивляемости опытных образцов мороженого процессу таяния. Способность к сохранению стабильной структуры мороженого при положительных колебаниях температуры, как правило, ассоциируют с количеством влаги и концентрацией веществ-стабилизаторов в нем [18]. Повышение концентрации углеводов, особенно моносахаров, в составе мороженого приводит к ускорению процесса таяния продукта и накопления плава [19]. По нашим данным, увеличение термоустойчивости опытных образцов с 2 % цедры на 9,5–11,0% ($p < 0.05$) было обусловлено внесением в смесь лимонного компонента. Об этом свидетельствуют данные динамики накопления плава мороженого, при этом достоверные различия в показателе термоустойчивости в пользу обогащенного мороженого прослеживались главным образом до 40 мин. термостатирования, далее с течением времени объем накопленного плава по вариантам не имел закономерных отличий (рис. 3). Опытные образцы отличались от контрольных по скорости таяния: за период экспозиции мороженого в термостате усредненное значение показателя в продукте с 1 % цедры составило 1,27 %/мин., с 2 % цедры – 1,14 против 1,30 %/мин. – в контроле. Использование цедры лимона оказало влияние на органолептические свойства мороженого, показанного на рис. 4.

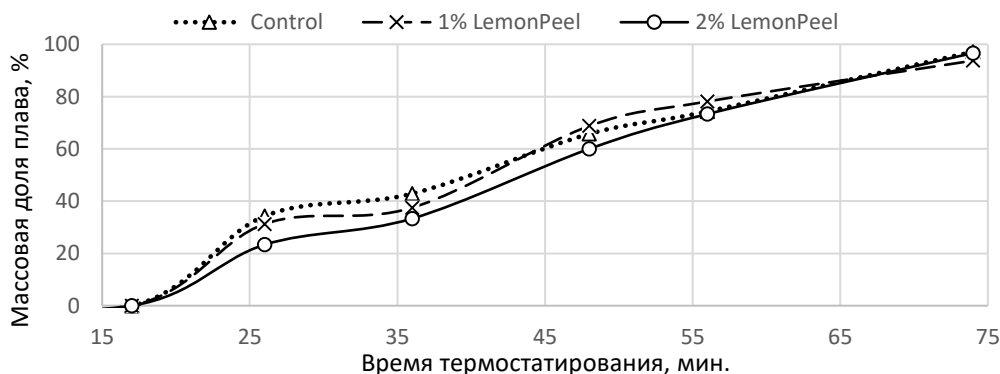


Рисунок 3 – Зависимость массовой доли плава мороженого от времени термостатирования

Figure 3 – Dependence of the mass fraction of the ice cream melt on the temperature control time



Рисунок 4 – Внешний вид образцов мороженого по вариантам

Figure 4 – Appearance of ice cream samples

Профиль флейвора мороженого демонстрировал заметное снижение интенсивности восприятия сладкого ($p < 0.01$) и сливочного вкусов ($p < 0.01$) в образцах с цитрусовым компонентом по отношению к контрольным значениям. Различия в полученных нами данных от исследований других авторов, где возрастающее сенсорное ощущение жирности связывали с внесением цедры апельсина, мы объясняем использованием смеси с большей массовой долей жира (10,2 % против 5,3 % в работе [13]). Восходящую динамику восприятия горечи ($p < 0.01$), лимонного вкуса ($p < 0.01$) и частиц цедры ($p < 0.01$) фиксировали соответственно доли флаведо лимона в рецептуре (рис. 5). Для снижения горечи во вкусе обогащенного мороженого рекомендуется предварительная подготовка цедры, а также ее внесение в количестве, не превышающем 1 % от массы компонентов смеси [20]. Контрольное мороженое, согласно данным профилограммы, имело более выра-

женную тенденцию к формированию порока льдистой структуры ($p > 0.05$), что, по-видимому, было связано с дефицитом компонентов рецептуры, связывающих свободную влагу [21].

ВЫВОДЫ

Проведен комплекс исследований по обоснованию возможности внесения измельченной цедры (флаведо) лимона при производстве мороженого с учетом ее влияния на органолептические и технологические показатели качества продукта. Использование цедры в дозировках 1 % и 2 % от массы компонентов смеси мороженого сопровождалось:

- повышением титруемой кислотности мороженого в 1,4–1,5 раза ($p < 0.05$);
- увеличением взбитости мороженого на 24,4–31,3% ($p < 0.01$);
- увеличением термоустойчивости мороженого (с 2 % цедры) при выдержке в течение 40 мин. (на 9,5–11,0 %, $p < 0.05$);
- усилением восприятия в продукте лимонного вкуса, горечи и частиц цедры на фоне снижения интенсивности сладкого и сливочного вкусов ($p < 0.01$, $W = 0.80$).

Обоснованной долей измельченной высушенной цедры лимона в составе смеси мороженого с массовой долей жира 10 % следует считать 1 % от массы компонентов. Увеличение доли растительного ингредиента ведет к усилению интенсивности негативного дескриптора горечи во вкусе продукта.

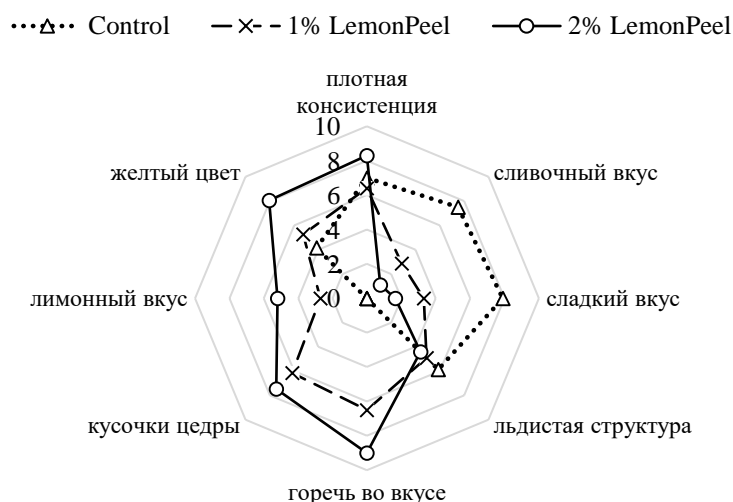


Рисунок 5 – Профиль флейвора мороженого, балл ($W = 0,80$, $n = 10$)

Figure 5 – Ice cream flavor profile, score ($W=0.80$, $n=10$)

ВЛИЯНИЕ ЦЕДРЫ ЛИМОНА НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОРОЖЕНОГО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование рецептуры производства мороженого / М.И. Сложенкина [и др.] // *Аграрно-пищевые инновации*. 2019. № 1 (5). С. 97–103. DOI: 10.31208/2618-7353-2019-5-97-103.
2. Влияние моно- и комплексных стабилизаторов на консистенцию и структуру мороженого / А.А. Творогова [и др.] // *Молочная промышленность*. 2022. № 4. С. 46–48.
3. Ульянова О.В., Илларионова В.В., Серов О.В. Поиск новых структурообразователей для мороженого и замороженных десертов // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2017. № 4 (358). С. 6–10.
4. Ademosun A.O. Citruspeelsodyesey: From the wastebin to the labbench to the diningtable // *Applied food research*. 2022. Vol. 2. № 1. P. 100083. DOI: 10.1016/j.afres.2022.100083.
5. Citrus peel as a source of functional ingredient: A review / S. Rafiq [et al.] // *Journal of Saudi society of agricultural sciences*. 2018. Vol. 17. P. 351–358. DOI: 10.1016/j.jssas.2016.07.006.
6. Соколова А.В., Иванченко О.Б., Хабибуллин Р.Э. Использование натуральных антиоксидантов как микронутриентов в продуктах питания // *Вестник Технологического университета*. 2016. Т. 19. № 24. С. 157–159.
7. Чугунова О.В., Лейберова Н.В. Разработка ассортимента мучных кондитерских изделий функционального назначения // *Известия УрГЭУ*. 2011. № 3 (35). С. 152–157.
8. Arioui F., Saada D.A., Cheriguene A. Physicochemical and sensory quality of yogurt incorporated with pectin from peel of Citrus sinensis // *Food science and nutrition*. 2016. Vol. 5. № 2. P. 358–364. DOI: 10.1002/fsn3.400.
9. Addition of orange peel in orange jam: Evaluation of sensory, physicochemical, and nutritional characteristics / F. Teixeira [et al.] // *Molecules*. 2020. Vol. 25. P. 1670. DOI: 10.3390/molecules25071670.
10. Sunarharum W.B., Yudawati A.N., Asih N.E. Effect of different brewing techniques and addition of lemon peel (Citrus limon) on physico-chemical characteristics and organoleptic of Cascara tea // *IOP Conference series: Earth and environmental sciences*. 2021. Vol. 733. P. 012086. DOI: 10.1088/1755-1315/733/1/012086.
11. Ademosun A.O., Oboh G., Ajeigbe O.F. Glycemic indices of ice creams enriched with orange (Citrus sinensis) and shaddock (Citrus maxima) peels and effects on rats' lipid profiles // *Journal of food biochemistry*. 2021. Vol. 45. № 7. DOI: 10.1111/jfbc.13813.
12. Tomar O., Akarca G. Effects of ice cream produced with lemon, mandarin, and orange peel essential oils on some physicochemical, microbiological and sensorial properties // *Kocatepe veterinary journal*. 2019. Vol. 12. № 1. P. 62–70. DOI: 10.30607/kvj.499415.
13. Development of chocolate ice cream using orange peel fiber as fat replacer / C.C. Boff [et al.] // *Ciência Rural*. Santa Maria. 2013. Vol. 43. № 10.

P. 1892–1897. DOI: 10.1590/S0103-84782013001000026.

14. Творогова А.А., Казакова Н.В., Ландиховская А.В. Применение продуктов переработки крахмала для восполнения сухих веществ в мороженом с низким содержанием жира // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 5. С. 77–81. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10516.

15. Тужилкин В.И., Кочеткова А.А., Колеснов А.Ю. Теория и практика применения пектинов // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 1995. № 1–2 (224–225). С. 78–83.

16. Совершенствование композиционного состава и структуры молочного мороженого / А.А. Творогова [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. Т. 48. № 2. С. 109–116. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-2-109-116.

17. Кварацхелия В.Н., Родионова Л.Я. Сравнительный анализ влияния низких температур на изменение аналитических характеристик пектиновых веществ, извлеченных из альbedo цитрусовых плодов // *Научный журнал КубГАУ*. 2014. № 104 (10). С. 1832–1842.

18. Борисова А.В., Макарова Н.В. Влияние массовой доли плодовоовощных пюре на качество мороженого // *Пищевая промышленность*. 2014. № 5. С. 74–77.

19. Шобанова Т.В., Творогова А.А. Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 3. С. 604–614. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-3-604-614.

20. Orange fiber as a novel fat replacer in lemon ice cream / T.M. Crizel [et al.] // *Food science and technology*. 2014. 34 (2). P. 332–340. DOI: 10.1590/fst.2014.0057.

21. Зайцев К.А., Новокшанова А.Л. Изучение влияния углеводного компонента на потребительские свойства мороженого // *Ползуновский вестник*. 2021. № 4. С. 47–51. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.007.

Информация об авторе

А. И. Яшкин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства Алтайского государственного аграрного университета.

REFERENCES

1. Slozhenkina, M.I., Mosolova, N.I., Tutarashvili, K.G. & Serova, O.P. (2019). Improvement of recipe frozen production. *Agrarian-and-foodinnovations*, 1 (5), 97-103. (In Russ.). DOI: 10.31208/2618-7353-2019-5-97-103.
2. Tvorogova, A.A., Gurskiy, I.A., Landikhovskaya, A.V. & Kochneva, S.E. (2022). The effect of mono- and complex stabilizers on the consistency and structure of ice cream. *Dairy industry*, 4, 46-48. (In Russ.).

3. Ulyanova, O.V., Illarionova, V.V. & Serov, O.V. (2017). Search new structure-forming agents for ice cream and frozen desserts. *Izvestiya vuzov. Food technology*, 4 (358), 6-10. (In Russ.).
4. Ademosun, A.O. (2022). Citrus peels odyssey: From the waste bin to the lab bench to the dining table. *Applied food research*, 2 (1), 100083. DOI: 10.1016/j.afres.2022.100083.
5. Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S.A., Bashir, N., Nazir, F. & Nayik, G.A. (2018). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of Saudi society of agricultural sciences*, 17, 351-358. DOI: 10.1016/j.jssas.2016.07.006.
6. Sokolova, A., Ivanchenko, O. & Khabibullin, R. (2016). The use of natural antioxidants as micronutrients in food. *Herald of technological university*, 19 (24), 157-159. (In Russ.).
7. Chugunova, O.V. & Leyberova, N.V. (2011). Development of an assortment of flour confectionery products for functional purposes. *Journal of the Ural state university of economics*, 3 (35), 152-157. (In Russ.).
8. Arioui, F., Saada, D.A. & Cheriguene, A. (2016). Physicochemical and sensory quality of yogurt incorporated with pectin from peel of Citrus sinensis. *Food science and nutrition*, 5 (2), 358-364. DOI: 10.1002/fsn.3.400.
9. Teixeira, F., dos Santos, B.A., Nunes, G., Soares, J.M., Amaral, L.A. & Souza, G. [et al.]. (2020). Addition of orange peel in orange jam: Evaluation of sensory, physicochemical, and nutritional characteristics. *Molecule*, 25, 1670. DOI: 10.3390/molecules 25071670.
10. Sunarharum, W.B., Yudawati, A.N. & Asih, N.E. (2021). Effect of different brewing techniques and addition of lemon peel (Citrus limon) on physicochemical characteristics and organoleptic of Cascara tea. *IOP Conference series: Earth and environmental sciences*, 733, 012086. DOI: 10.1088/1755-1315/733/1/012086.
11. Ademosun, A.O., Oboh, G. & Ajeigbe, O.F. (2021). Glycemic indices of ice creams enriched with orange (Citrus sinensis) and shaddock (Citrus maxima) peels and effects on rats' lipid profiles. *Journal of food biochemistry*, 45, 7. DOI: 10.1111/jfbc.13813.
12. Tomar, O. & Akarca, G. (2019). Effects of ice cream produced with lemon, mandarin, and orange peel essential oils on some physicochemical, microbiological and sensorial properties. *Kocatepe veterinary journal*, 12 (1), 62-70. DOI: 10.30607/kvj.499415.
13. Boff, C., Crizel, T., Araujo, R., Rios, A. & Flores, S. (2013). Development of chocolate ice cream using orange peel fiber as fat replacer. *Ciência Rural. Santa Maria*, 43 (10), 1892-1897. DOI: 10.1590/S0103-84782013001000026.
14. Tvorogova, A.A., Kazakova, N.V. & Landikhovskaya, A.V. (2020). Use of starch processing products to replenish solids in low-fat ice cream. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*, 34 (5), 77-81. (In Russ.). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10516.
15. Tuzhilkin, V.I., Kochetkova, A.A. & Koleznov, A.Yu. Theory and practice of pectin application. *Izvestiya vuzov. Food technology*, 1-2 (224-225), 78-83. (In Russ.).
16. Tvorogova, A.A., Shobanova, T.B., Landikhovskaya, A.V. & Zakirova, R.R. (2018). Milk ice cream composition and structure improvement. *Food processing: Techniques and technology*, 48 (2), 109-116. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2018-2-109-116.
17. Kvaratskheliya, V.N. & Rodionova, L.Ya. (2014). The influence of low temperatures on the quality of pectinaceous substances fruits and berries. *Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university*, 104 (10), 1832-1842. (In Russ.).
18. Borisova, A.V. & Makarova, N.V. (2014). Influence of mass fraction of fruit puree on the quality of ice cream. *Food industry*, 5, 74-77. (In Russ.).
19. Shobanova, T.V. & Tvorogova, A.A. (2021). The effect of replacing sucrose with glucose-fruit syrup on the quality indicators of plombièresice-cream. *Food processing: Techniques and technology*, 51 (3), 604-614. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2021-3-604-614.
20. Crizel, T.M., Araujo, R.R., Rios, A.O., Rech, R. & Flores, S.H. (2014). Orange fiber as a novel fat replacer in lemon ice cream. *Food science and technology*, 34 (2), 332-340. DOI: 10.1590/fst.2014.0057.
21. Zaytsev, K.A. & Novokshanova, A.L. (2021). Study of the effect of the carbohydrate component on the consumer properties of ice cream. *Polzunovskiy vestnik*, 4, 47-51. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.007.

Information about the author

A. I. Yashkin - candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of technology of production and processing of livestock products of Altai state agricultural university. Ph.: +7-961-999-7000.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК635.24:631.36

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.003



АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

Игорь Алексеевич Бакин ¹, Анна Андреевна Макарова ²,
Шаген Вазгенович Гаспарян ³

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

¹ bakin@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5678-1975>

² a.makarova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3189-4057>

³ gas_shag@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>

Аннотация. В клубнях топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) содержится значительное количество углеводов, имеющих пребиотический потенциал. Полуфабрикат переработки клубней является продуктом функционального и диетического питания. Оболочки клубней снижают питательные и функциональные свойства сырья, ухудшают органолептические показатели. Товарная подготовка включает стадии очистки от почвенных примесей и покрывных тканей. Рассмотрены агротехнологические приемы первичной обработки клубней, включающие операции инспекции и сортировки, мойки и удаления посторонних соединений. С целью выявления устойчивой технологии очистки клубней топинамбура, согласно подходу с использованием принципов ХАССП, проведены исследования для идентификации и анализа опасностей, возникающих на каждом этапе технологического процесса с использованием различных способов очистки. Установлено, что критическими контрольными точками в линии первичной обработки топинамбура являются очистка и последующее хранение. Рассчитаны факторы опасностей для различных способов очистки. Для химического способа установлена опасность наличия остаточного количества щелочи, которая оценена в 12 баллов. Для механической очистки физическая опасность (попадание посторонних примесей и абразивного материала в толщу клубня) и биологическая опасность (микробная контаминация клубней при повреждении элементами оборудования) оценена 9 и 12 баллами. Для термического способа физическая опасность при проваривании клубнеплодов и механических повреждениях установлена в 6 баллов. Исходя из числа возникновения опасностей и их оценки выявлен наиболее устойчивый и безопасный термический способ очистки. Разработан план управления опасностями при использовании разных способов очистки и предложены рекомендации по предупреждающим действиям, направленным на устранение или снижение возникающих рисков в ходе технологического процесса, гарантирующих его устойчивость. Описаны методы контроля (система мониторинга) операций первичной переработки топинамбура и программа обязательных предварительных мероприятий, включающая инструкции методов очистки и надлежащего использования оборудования.

Ключевые слова: топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.), очистка, устойчивость, инулин, технологический процесс, риски, безопасность.

Благодарности: Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Для цитирования: Бакин И. А., Макарова А. А., Гаспарян Ш. В. Анализ устойчивости технологии очистки клубней топинамбура // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 21–33. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.003. EDN: <https://elibrary.ru/ECXULO>.

Original article

STABILITY ANALYSIS OF TECHNOLOGY FOR CLEANING TOPINAMBUR TUBERS

Igor A. Bakin¹, Anna A. Makarova², Shagen V. Gasparyan³

^{1,2,3} Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹ bakin@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5678-1975>

² a.makarova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3189-4057>

³ gas_shag@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>

Abstract. Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) contain a significant amount of carbohydrates with prebiotic potential. The semi-finished product of tuber processing is a product of functional and dietary nutrition. Tuber shells reduce the nutritional and functional properties of raw materials, worsen organoleptic characteristics. Commodity preparation includes the stages of cleaning from soil impurities and covering fabrics. The agrotechnological methods of primary processing of tubers are considered, including the operations of inspection and sorting, washing and removal of foreign compounds. In order to identify a sustainable technology for cleaning Jerusalem artichoke tubers according to the approach using the HACCP principles, studies were carried out to identify and analyze the hazards that arise at each stage of the technological process using various cleaning methods. It has been established that the critical control points in the Jerusalem artichoke primary processing line are cleaning and subsequent storage. Hazard factors for various cleaning methods are calculated. For the chemical method, the danger of the presence of a residual amount of alkali has been established, which is estimated at 12 points. For mechanical cleaning, physical hazard (ingress of foreign impurities and abrasive material into the thickness of the tuber) and biological hazard (microbial contamination of tubers when damaged by equipment elements) were rated 9 and 12 points. For the thermal method, the physical danger during the boiling of tubers and mechanical damage is set at 6 points. Based on the number of occurrence of hazards and their assessment, the most stable and safe thermal cleaning method was identified. A hazard management plan has been developed for the use of various cleaning methods and recommendations have been made for preventive actions aimed at eliminating or reducing emerging risks during the process, guaranteeing its stability. Methods of control (monitoring system) of Jerusalem artichoke primary processing operations and a program of mandatory preliminary measures are described, including instructions for cleaning methods and proper use of equipment.

Keywords: Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), cleaning, sustainability, inulin, technological process, risks, safety.

Acknowledgements: The work was carried out at the expense of the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030".

For citation: Bakin, I.A., Makarova, A.A., Gasparyan, Sh.V. (2023). Stability analysis of technology for cleaning topinambur tubers. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 21-33. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.003. EDN: <https://elibrary.ru/ECXULO>.

ВВЕДЕНИЕ

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) широко распространен на всей территории России, дает высокие урожаи, морозо- и засухоустойчив. В клубнях топинамбура содержится значительное количество углеводов, из которых до 70–90 % составляют полисахариды, включая инулин [1]. Известно, что фруктаны инулинового ряда являются пребиотиками, оказывающими благотворное влияние на микрофлору желудочно-кишечного тракта. Полезные свойства этого неперевариваемого олигосахарида вызывают интерес к его использованию в качестве ингредиента функциональных продуктов с низким гликемическим индексом и альтернативы сахарам [2].

При хранении клубней топинамбура происходит деградация полимеров инулина и, следовательно, снижение функциональных свойств. В связи с этим используются переработанные полуфабрикаты топинамбура в виде инулино-пектиновых концентратов, фруктозо-глюкозных сиропов, высушенных волокон и мучных смесей [3]. Предварительная обработка клубнеплодов позволяет уменьшить потери массы и питательной ценности сырья, сократить ферментативное потемнение и повысить качество продукции. Полуфабрикат из топинамбура применяется как заменитель сахара и муки в молочных продуктах, крупах и хлебобулочных изделиях для снижения калорийности

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

и в качестве пребиотика [4]. Требования технологии к органолептическим показателям, в частности цвету полуфабриката, вызывают необходимость поиска технологических приемов для полной очистки клубней не только от загрязнений, но и от оболочек.

Проблемой промышленной первичной обработки клубней топинамбура является сложность их очистки от почвенных примесей и покрывных тканей клубнеплодов. Оболочка снижает питательные и функциональные свойства сырья, а также ухудшает органолептические показатели продукции. Для продуктов длительного хранения, таких как фруктозо-глюкозных сиропов и измельченных порошков, наличие продуктов переработки покрывных тканей приводит к потемнению цвета и появлению характерного запаха. Агротехнологические приемы первичной обработки клубней включают операции мойки, сортировки, инспекции и удаления посторонних соединений. Зачастую, вследствие сложной морфологии клубней, не удается достичь полного очищения от примесей и отделения оболочек [5].

В настоящее время для выявления оптимальных технологий и устойчивых методов обработки успешно используется методология, основанная на принципах ХАССП, имплементирующая детекцию, оценку и управление опасностями [6]. Этот метод нашел отражение применительно к технологическим цепочкам первичного производства в стандарте ISO 22000 [7]. Согласно подходу, проведены исследования технологии пищевых продуктов для идентификации и анализа опасностей [8]. Исследователями описаны процедуры для контроля операций переработки свежесобранного сырья и инспекции методов очистки, повторной сборки оборудования и надлежащего использования дезинфицирующих средств [8].

В России ГОСТ Р ИСО 22000 предполагает контроль абсолютно всей цепи производства, куда включены не только принципы ХАССП, а также требования относительно обмена информацией, программ обязательных предварительных мероприятий и прослеживаемости [9, 10].

В связи с изложенным актуальным становится исследование способов первичной обработки клубней топинамбура от загрязнений и

покрывных тканей для выявления и анализа потенциальных опасностей с целью обоснования устойчивых методов очистки клубнеплодов.

Цель исследований: определить устойчивость линии первичной обработки клубней топинамбура (*Helianthus tuberosus L.*).

Задачи исследования: провести анализ агротехнологических приемов первичной обработки клубней; провести идентификацию и анализ опасностей, возникающих на каждом этапе технологического процесса; оценить факторы опасностей для различных способов очистки; разработать план управления опасностями и предложить рекомендации по предупреждающим действиям.

МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись технологические операции очистки клубней топинамбура (*Helianthus tuberosus L.*) в линии первичной обработки.

Методология анализа агротехнологических приемов заключалась в рассмотрении технологической последовательности технологического процесса очистки клубней топинамбура. Предварительная подготовка топинамбура инициализируется с инспекцией по качеству и размеру. Далее рассмотрены стадии сухого удаления загрязнений, после чего проанализированы мойка клубней топинамбура и мокрая очистка. Завершается технологический процесс этапами доочистки (при необходимости) и промыванием с последующим хранением выработанного полуфабриката.

Анализ опасностей проводился по алгоритму ГОСТ Р 51705.1-2001 [10], с использованием диаграммы анализа рисков и метода «Дерева принятия решений». Оценка опасностей проводилась экспертным методом, с учетом доступной информации и имеющегося практического опыта. Алгоритм включал выявление и анализ вероятности реализации опасного фактора и оценивание тяжести последствий при его реализации. Оценки варьировались на четырех уровнях, при вероятностях возникновения от высокой до незначительной и тяжести последствий – от тяжелой до незначительной (табл. 1).

Таблица 1 – Количественные оценки шкалы опасностей

Table 1 – Quantitative assessments of the hazard scale

Тяжесть последствий	Вероятность возникновения			
	Незначительная (1)	Низкая (2)	Умеренная (3)	Высокая (4)
Незначительная (1)	1	2	3	4
Низкая (2)	2	4	6	8
Умеренная (3)	3	6	9	12
Тяжелая (4)	4	8	12	16

1–2	Минимальные риски	3–4	Умеренные риски	4–16	Критические риски
-----	-------------------	-----	-----------------	------	-------------------

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе обобщались данные о стадиях технологии первичной обработки клубнеплодов. Блок-схема технологического процесса очистки клубнеплодов представлена на рисунке 1.

Начальной стадией выделены приемы инспекции (по размеру и качеству), сортировки и калибровки. Результатом является отделение от клубней посторонних и почвенных примесей, удаление дефектных клубнеплодов (загнившие, побитые, поврежденные вредителями) и разделение по размерам. Целью операций является уменьшение влияния технических факторов и потерь сырья по массе. Исходя из ранее проведенных исследований и нормативных требований [11] рекомендованы предупреждающие действия: визуальный контроль качества и размера клубней.

На второй стадии (мытья) производится удаление почвенных загрязнений с поверхности клубней для улучшения санитарных условий в дальнейшей обработке. Оборудование включает моечные машины, картофелечистки с дисками без абразивной облицовки, моечно-очистительные машины или ручные операции [12]. Цель: улучшение санитарного состояния сырья и оборудования (машин), а также увеличение сроков эксплуатации шероховатой поверхности терочных дисков. Предупреждающие действия: соблюдение технологического процесса (параметры и время).

Третьей стадией является очистка клубней с целью удаления с них покровных тканей и остатков загрязнений. Рассмотрены три способа очистки (химическая, механическая и термическая), наиболее распространенных в технологиях переработки продукции растениеводства [16]. Ниже приведен анализ способов очистки.

1. Термическая очистка

а) паровой способ заключается в обработке паром под давлением в течение короткого промежутка времени с дальнейшим удалением кожицы (1–2 мм поверхностного слоя мякоти) струей воды на моечно-очистительной машине. Указанный способ оказывает комбинированное влияние на клубнеплоды: пар под давлением (0,3–0,5 МПа) и температура (140–180 °С), резкое изменение давлений при выходе из аппарата, гидравлическое и механическое трение. Предупреждающие действия: соблюдение параметров и продолжительности обработки; контроль глубины и степени размягчения подкожного слоя;

б) пароводотермический способ – кратковременная обработка сырья паром с применением теплового оборудования – автоклава или термостата, затем водяная – неко-

торое время в автоклаве (под воздействием образующегося конденсата), но главным образом в термостате и моечно-очистительной машине. Затем происходит механическое удаление поверхностных слоев клубней из-за трения клубней между собой в автоклаве и моечно-очистительной машине. В дальнейшем охлаждение осуществляется на моечно-очистительной машине путем ополаскивания холодной водой. Предупреждающие действия: предварительная рассортировка по размеру (для достижения равномерной проваренности всех слоев по сечению клубня); дозирование по массе (обеспечение свободных 20 % объема для хорошего перемешивания сырья); контроль режима обработки в зависимости от калибра сырья, температуры воды в термостате (75 °С), толщина мякоти ткани проваренной части подкожного слоя (не более 1 мм, визуальная оценка – отсутствие жесткой сердцевины и легкое отделение кожуры при механическом нажиме).

2. Механическая очистка (абразивной поверхностью, системой ножей, сжатым воздухом)

Производится удаление кожицы методом стирания периодического или непрерывного действия на машинах, обеспечивающих непрерывную подачу в них воды из сопел под давлением 1–1,2 МПа для смывания и удаления отходов. Предупреждающие действия: контроль изношенности абразивной поверхности; контроль параметров обработки (частота вращения, заполнение рабочего органа, подача воды). Недопустимо увеличение загруженности больше нормы, что приводит к увеличению времени пребывания клубнеплодов в очистительной машине и, как следствие, излишнему увеличению процента отходов и неравномерной очистке загруженной партии сырья. Недостаточная загрузка рабочего объема способствует снижению производительности и чрезмерному разрушению наружных клеток, вызванных ударами клубней по стенкам, что приводит к потемнению топинамбура после очистки.

3. Химическая очистка

Основана на воздействии горячих растворов щелочей на клубнеплоды в установках барабанного типа, в результате чего происходит расщепление протопектина поверхностного слоя клубня, приводящая к нарушению связи кожицы с клетками мякоти. После обработки щелочью кожура смывается в щеточных, роторных или барабанных моечных машинах в течение 2–4 мин водой под давлением 0,6–0,8 МПа. Предупреждающие действия: регулировка и контроль температуры (90–95 °С) и концентрации раствора щелочи

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

(6–12 %), продолжительность щелочной обработки (5–6 мин); тщательное промывание после обработки.

На четвертой стадии проанализированы операции доочистки и промывания для удаления остатков кожицы и дефектных мест клубней вручную. Клубни после очистки механическим способом нуждаются в дополнительной инспекции и доочистке. При механическом способе очистки топинамбура происходит повреждение клеток, что приводит к разрыву вакуолей и вытеканию клеточного сока, содержащего полифенолы, ввиду чего образуется благоприятная среда, приводя-

щая к взаимодействию с кислородом воздуха. Процесс окисления фенольных соединений запускается с участием окислительно-восстановительных ферментов – пероксидазой и полифенолоксидазой, вследствие чего поверхность клубней темнеет. Предупреждающие действия: после очистки сырье заливается водой, в дальнейшем процессе доочистки и резки интенсивно смачивается поверхность клубнеплодов.

Проведен анализ линии очистки топинамбура и идентифицированы опасности, возникающие на всех стадиях технологического процесса (табл. 2).

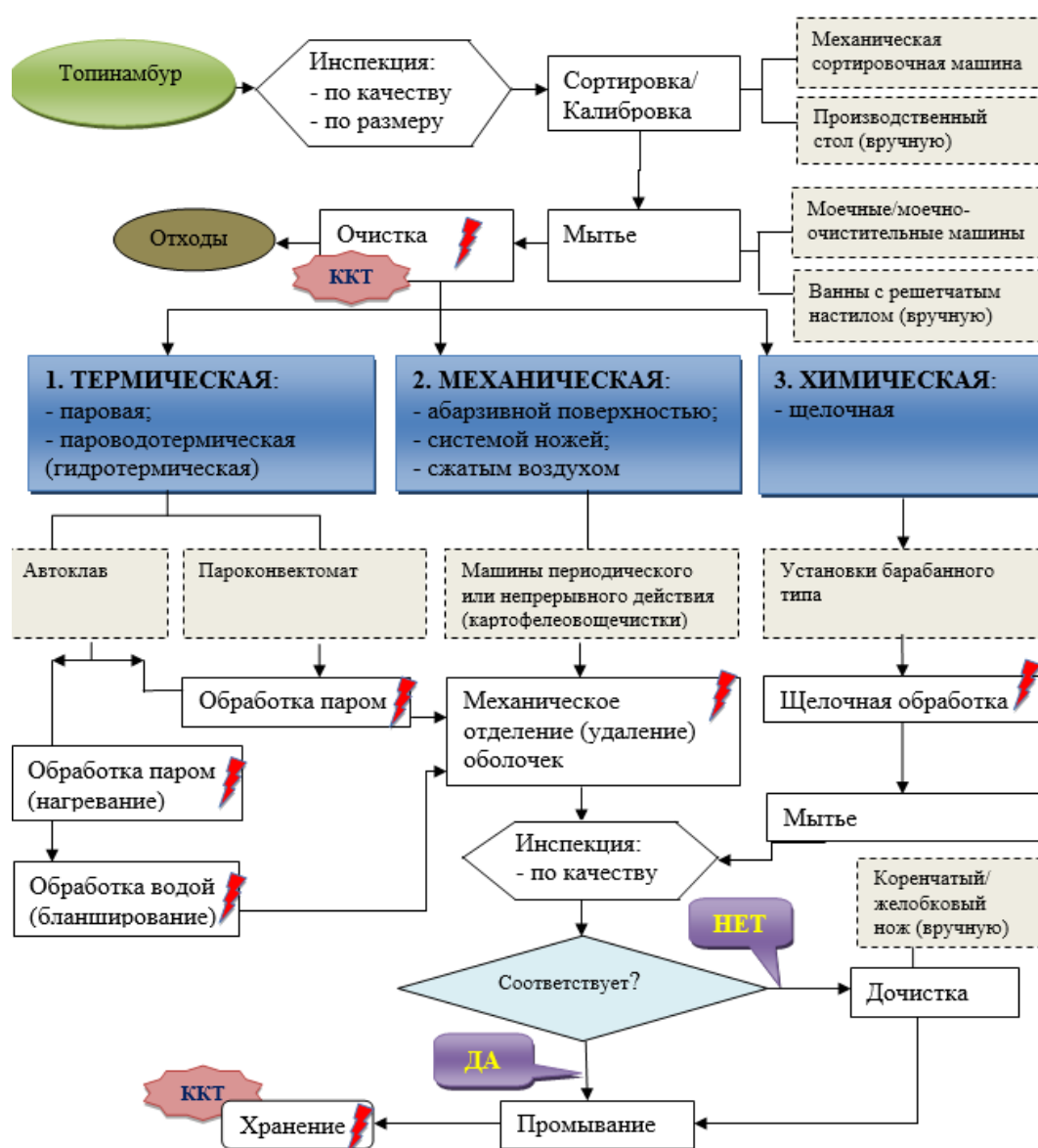


Рисунок 1 – Поточная диаграмма технологического процесса очистки клубней топинамбура

Figure 1 – Flow diagram of the technological process of cleaning Jerusalem artichoke tubers

Таблица 2 – Идентификация опасностей при использовании разных способов очистки клубней топинамбура

Table 2 – Identification of hazards when using different methods of cleaning Jerusalem artichoke tubers

Объект / процесс	Вид опасности: Биологическая («БО»), Физическая («ФО»), Химическая («ХО»), в том числе аллергены	Характеристика опасного фактора
1	2	3
1. Входной контроль	БО плесени, патогенная микрофлора; микроорганизмы; паразиты; зоонозные патогены, сельскохозяйственные вредители и отходы их жизнедеятельности	Несоблюдение режимов и условий транспортирования: температура, товарное соседство и санитарное состояние ТС. Нарушение сроков годности
	ФО почвенные загрязнения; посторонние включения неорганического происхождения (металлопримеси, пластиковые материалы и др.); механические повреждения	Остаточное количество земли на поверхности клубнеплодов, наличие раздавленных и механически поврежденных, запаренных, подмороженных клубней топинамбура из-за несоблюдения правил уборки и режимов хранения и (или) транспортирования
	ХО токсические элементы, нитраты и нитриты, пестициды и т.д.	Несоответствие продукции требованиям нормативной документации (ТР ТС 021/2011, ГОСТ 32790-2014), из-за нарушения агротехники выращивания
2. Инспекция, сортировка, калибровка	БО плесени, микроорганизмы, патогенная микрофлора, паразиты, зоонозные патогены; сельскохозяйственные вредители и отходы их жизнедеятельности	Наличие гниющих, заплесневевших, поврежденных сельскохозяйственными вредителями, клубнеплодов из-за нарушения агротехники выращивания и режимов хранения. Нарушение сроков годности
	ФО почвенные загрязнения; посторонние включения неорганического происхождения (металлопримеси, пластиковые материалы и др.); механические повреждения	Остаточное количество земли на поверхности клубнеплодов, наличие раздавленных и механически поврежденных, запаренных, подмороженных клубней топинамбура из-за несоблюдения правил уборки и режимов хранения. Попадание посторонних предметов, находящихся на теле человека, в карманах; отходы жизнедеятельности человека (волосы, ногти); загрязнения от спецодежды (пуговицы, нитки, кусочки ткани)
3. Мытье	БО микроорганизмы порчи; зоонозные патогены	Попадание дефектных клубней (гнилых, подмороженных, запаренных) после инспекции, наличие погрызов и продуктов жизнедеятельности грызунов, механических повреждений (вмятины, порезы, трещины и пр.)
	ФО - посторонние примеси	Недостаточная очистка от почвенных загрязнений. Неполное удаление посторонних включений (камней, комьев земли, ботвы и пр.). Попадание в продукцию посторонних предметов (пуговицы, волосы и т.д.) при нарушении правил личной гигиены
4. Очистка	БО микроорганизмы	Микробная контаминация клубней при повреждении элементами оборудования (щетками) внутренних слоев топинамбура
	ФО проваривание клубнеплодов	Излишнее разваривание или истирание клубней топинамбура (толщина проваренного подкожного слоя мякоти ткани более 1 мм) в результате слишком жесткого режима обработки, что способствует увеличению количества отходов, а также перекрестному загрязнению от деталей оборудования и проникновению микроорганизмов в глубокие слои обрабатываемого сырья

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4
	- механическая	БО микроорганизмы	Микробная контаминация клубней при повреждении элементами оборудования (щетками) поверхностных слоев топинамбура
		ФО абразивный материал; посторонние примеси	Износ терочной поверхности, неудовлетворительное состояние насечки на абразивной поверхности, что приводит к попаданию частиц абразивных поверхностей в структуру клубней. Попадание посторонних примесей (земли, песка и др.) в толщу клубня ввиду нарушения целостности покрывных тканей топинамбура и переизмельчения
	- химическая	ХО остаточное количество щелочных средств	Остаточное количество щелочи после обработки из-за недостаточного ополаскивания проточной водой
5. Хранение		БО микроорганизмы; зоонозные патогены; вирусы; дрожжи и плесени	Нарушение режимов хранения: температура. Нарушение сроков годности при хранении пищевой продукции, в том числе продовольственного сырья. Неудовлетворительное санитарное состояние холодильного оборудования. Перекрестное загрязнение в ходе нарушения товарного соседства
		ФО посторонние включения неорганического (металлопримеси, личные вещи, упаковочные материалы и т.д.) и органического (насекомые, грызуны) происхождения	Нарушение санитарно-гигиенических правил при проведении мойки и дезинфекции складской зоны. Попадание в продукцию при несоблюдении правил личной гигиены. Следы жизнедеятельности вредителей при нарушении проведения мероприятий по борьбе с вредителями. Попадание в продукцию посторонних предметов при несвоевременном обслуживании/ремонте ХО или при хранении в открытом виде в овощехранилищах/кагатах
		ХО остатки моющих и дезинфицирующих средств	Нарушение санитарно-гигиенических правил (режимов мойки) при проведении мойки и дезинфекции, при нарушении технологии приготовления рабочего раствора. Перекрестное загрязнение при несоблюдении правил использования оборудования и инвентаря
6. Используемое оборудование		БО санитарно-показательные микроорганизмы	Несоответствующее санитарное состояние оборудования (неэффективные моющие и дезинфицирующие средства, нарушение технологии или кратности проведения санитарных мероприятий)
		ФО посторонние включения	Попадание посторонних предметов технологического оснащения (мелкие части оборудования: гайки, болты и т. д.), продукты износа машин и оборудования
		ХО ингибирующие вещества; смазочные материалы	Попадание остаточных количеств моющих и дезинфицирующих средств с обработанного оборудования, при несоблюдении правил санитарной обработки оборудования. Попадание технических масел при несоблюдении правил технического обслуживания оборудования
7. Вода		БО микроорганизмы; яйца и личинки гельминтов	Использование воды, несоответствующей требованиям безопасности, предъявляемым к питьевой воде (санитарно-химические, микробиологические, физико-химические и радиологические показатели). Ухудшение качества воды в связи с нарушением замены отработанной воды и длительным нахождением в оборудовании
		ХО токсичные элементы; радионуклиды; минеральные вещества	
8. Инфраструктура и производственная среда		БО зоонозные патогены, сельскохозяйственные вредители и отходы их жизнедеятельности; плесени, дрожжи	Попадание грызунов, насекомых, птиц и отходов их жизнедеятельности; остаточные количества средств для обработки помещений от грызунов и насекомых из-за нарушения программы пест-контроля и санитарной обработки. Воздух как источник микробного загрязнения, плесени, дрожжей из-за несоблюдения санитарно-гигиенических требований
		ФО - посторонние включения	Попадание посторонних предметов: строительные материалы, краска, элементы технического оснащения из-за несвоевременного технического обслуживания, ремонта

В качестве источников опасностей рассмотрены стадии технологического процесса, инфраструктура и производственная среда, применяемое оборудование, вода. Анализ опасностей проведен исходя из следующих видов: биологические; химические; физические [15]. Установлено, что часто возникающими опасностями являются физические (посторонние примеси различного происхожде-

ния) и биологические (слизеообразующие, спорообразующие бактерии и дрожжи). В результате установления опасностей сформулирована характеристика каждого опасного фактора. По каждому потенциально опасному фактору проведен анализ рисков с учетом возникновения фактора и значимости его последствий. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Анализ (оценка) опасностей в линии очистки топинамбура

Table 3 – Analysis (assessment) of hazards in the Jerusalem artichoke cleaning line

Вид опасности	Опасный фактор	Опасности, связанные с технологическим процессом							Оборудование	Вода	Инфраструктура и производственная среда
		Входной контроль	Инспекция, сортировка и калибровка	Мытье	Очистка			Хранение			
					термическая	механическая	химическая				
Биологическая	Дрожжи и плесени	4	4	4	4	6	4	6	3	0	3
	Зоонозные патогены, с/х вредители и отходы их жизнедеятельности	4	4	2	2	2	2	4	1	0	4
	БГКП (колиформы)	4	4	4	4	6	4	6	3	0	3
	Яйца и личинки гельминтов, паразиты	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0
	Вирусы	2	3	4	4	4	4	4	1	0	2
	КМА-ФАНМ/ОМЧ	4	4	4	4	6	4	6	3	2	3
Физическая	Посторонние включения	3	3	2	3	4	4	4	2	0	4
	Почвенные загрязнения	4	4	4	2	2	2	0	2	0	2
	Механические повреждения	3	3	4	4	4	4	3	0	0	3
	Абразивный материал	0	0	0	0	9	0	0	3	0	0
	Проваривание клубнеплодов	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
Химическая	Остаточное количество моющих и дезинфицирующих средств	2	2	2	4	4	4	4	4	0	4
	Остаточное количество щелочных средств	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0
	Минеральные вещества, нитраты и нитриты, пестициды и т.д.	2	2	2	1	2	2	2	0	2	0
	Токсичные элементы, радионуклиды и пр.	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0
	Смазочные материалы	1	1	3	3	3	3	2	3	0	2

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

В ходе оценки и анализа рисков каждого из способов очистки топинамбура установлены критические контрольные точки, включающие следующие опасности:

1) термический способ очистки: физическая опасность – проваривание клубнеплодов и возникновение механических повреждений;

2) механический способ очистки: физическая опасность – механические повреждение и попадание абразивного материала в продукт, а также биологическая опасность – микробиологическая обсемененность клубней топинамбура;

3) химический способ очистки: химическая опасность – остаточные количества щелочных средств.

Анализируя каждый вид опасностей, определены достоинства и недостатки рассматриваемых способов очистки топинамбура:

1) термическая очистка является наименее опасной, так как в процессе тепловой обработки подавляется развитие и рост микроорганизмов, а также уменьшается процент отходов, что дает больший выход готовой продукции и облегчает процесс доочистки;

2) механическая очистка способствует дополнительной обсемененности микроорганизмами с попаданием их во внутренние слои

продукта и дает большой процент отходов, а также присутствует такая трудоемкая технологическая операция, как ручная доочистка;

3) химическая очистка выступает наиболее опасным способом, так как не позволяет в полной мере удалить полностью щелочные средства, а также при взаимодействии химического раствора с клубнеплодом происходит ряд биохимических процессов, вызывающих потемнение клубней при дальнейшем их хранении, что негативно сказывается на товарном виде продукции.

Для установленных опасностей сформулированы предельные значения для каждой ККТ, нахождение в которых свидетельствует о соблюдении установленного уровня безопасности. Следующим этапом была разработка системы мониторинга, позволяющая удостовериться, что ККТ находятся в управляемом состоянии. С этой целью определялись место контроля, метод и периодичность. Для исправления отклонений в случае их возникновения в ККТ предложена система корректирующих действий. В табл. 4 представлен разработанный план управления опасностями (план ХАССП) в линии очистки клубнеплодов топинамбура.

Таблица 4 – План управления опасностями

Table 4 – Hazard Management Plan

Этап	Опасный фактор	Средство управления	Мониторинг			Корректирующие действия
			что	как	когда	
1	2	3	4	5	6	7
Термическая очистка						
Обработка паром	Ф – проваривание клубнеплодов	Строгое соблюдение параметров и времени тепловой обработки. Проведение обработки под высоким давлением с сокращением продолжительности процесса	Давление, температура Глубина и степень размягчения под кожного слоя клубнеплода (не более 1 мм)	Манометр Пенетрометр	В течение всего процесса По завершении процесса	Откорректировать режимы обработки в соответствии с технологической документацией. Своевременное ТО оборудования, настройка панели управления Провести оценку качества: 1) в случае недостаточной проваренности клубнеплодов – продолжить тепловую обработку; 2) в случае излишнего разваривания – утилизировать

Продолжение таблицы 4 / Continuation of table 4

1	2	3	4	5	6	7
Щелочная обработка	ХО – остаточное количество щелочных средств	Регулировка и контроль температуры и концентрации раствора щелочи	Температура (90–95 °С) и концентрация (6–12 %) раствора щелочи	Термометр Лабораторный контроль или экспресс-тестирование концентрации рабочего раствора	В течение всего процесса	Оценка качества топинамбура: при нанесении на поверхностный слой топинамбура капли фенолфталеина и появление малинового окрашивания – повторное ополаскивание водой. В случае несоответствия концентрации рабочего раствора – провести соответствующую корректировку
Механическая очистка	ФО – абразивный материал БО – микро-организмы	Контроль состояния насечки на абразивной поверхности. По мере износа (затупления) терочную поверхность необходимо восстанавливать. Регулярное проведение ТО оборудования. Контроль загрузки машины (заполнение цилиндра примерно на 3/4 его объема). Контроль за санитарным состоянием используемого оборудования и сроков годности сырья	Состояние абразивной поверхности Объем загрузки оборудования (≤3/4 его объема) Время обработки	Визуальный контроль	До начала процесса В процессе	При выявлении дефектов абразивного материала – провести замену рабочего органа. При выявлении неудовлетворительного санитарного состояния оборудования – провести мероприятия по санитарной обработке. Внести корректировки в ПОПМ, увеличив кратность проведения санитарных мероприятий
Хранение	БО – микро-организмы	Соблюдение способов упаковки, температурных режимов хранения очищенных полуфабрикатов, сроков годности, товарного соседства, санитарного состояния оборудования	Температура Срок годности Товарное соседство Санитарное состояние ХО	Термометр Визуальный контроль	В процессе	В случае отклонения температурного режима ХО – провести оценку качества: А) при удовлетворительном результате – переместить продукцию в другой холодильник соблюдением товарного соседства; Б) при неудовлетворительном результате – утилизировать. Провести ТО и ремонт ХО, поверку и калибровку средств измерений. Наличие контрольного термометра

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведя анализ устойчивости технологии очистки клубней топинамбура, выделены две критические контрольные точки, возникающие на стадиях очистки с использованием различных способов очистки (ККТ-1), и последующего хранения (ККТ-2).

Метод очистки, основанный на кратковременной паротермической обработке и резком сбросе давления, в ряде исследований [13] зарекомендовал себя эффективным. В этом случае обеспечивается очистка за счет срыва тонкой пленки кожицы по всей поверхности клубней, включая такие труднодоступные места, как углубления, впадины, трещины, бугорки и пр. Тепловая обработка (бланширование) способствует подавлению роста микроорганизмов, вызывающих порчу продукта, и инактивирует ферменты, обуславливающие потемнение. Термическая очистка топинамбура включает в себя такую физическую опасность, как излишнее проваривание клубнеплодов, оцененную в 6 баллов. Строгое соблюдение параметров и времени тепловой обработки позволяет сделать данную технологию наиболее устойчивой.

Промытое сырье в традиционных технологиях очищается вращающимися абразивными барабанами или же ножами для удаления оболочек [14]. В этом случае потери составляют до 30 % от массы клубней. При обрезке возможен рост микроорганизмов и вторичное загрязнение сырья. Немаловажным фактором является возможность попадания абразивных частиц рабочих органов очистительных машин в структуру клубней. Механические способы очистки приводят к повышенному отделению клеточного экссудата, проявлению ферментативных процессов, что вызывает потемнение очищенных клубнеплодов и соответственно придание темной окраски высушенному полуфабрикату [14]. При использовании механического способа очистки во избежание попадания посторонних примесей и абразивного материала в толщу клубня необходимым средством управления является визуальный контроль состояния абразивной поверхности и объема загрузки оборудования, а также длительность обработки. Рассчитав фактор опасности как произведение значений вероятности возникновения и тяжести последствий, данная опасность была оценена на 9 баллов. С целью минимизации возникновения риска микробной контаминации сырья, оцененного на 6 баллов, при повреждении элементами обо-

рудования предупреждающим действием является их тщательная санитарная обработка.

Химическая очистка подразумевает взаимодействие химического раствора с клубнеплодом. В результате ряда биохимических процессов происходит расщепление внешних слоев клубней. При применении химического способа очистки возникает опасность наличия на обрабатываемой поверхности остаточного количества щелочи, имеющая самые высокие значения и оцененная в 12 баллов. В качестве управляющего воздействия предложены регулировка и контроль температуры, концентрации раствора щелочи с использованием автоматических систем измерения и контроля, а также лабораторный контроль или экспресс-тестирование концентрации рабочего раствора. Предусмотренный технологией этап последующего ополаскивания с визуальным контролем не обеспечивает в полной мере исключения опасности. В связи с изложенным сделан вывод, что химический способ очистки является наиболее опасным и неустойчивым.

Исходя из анализа разработанного плана управления опасностями выявлены технологические операции, требующие контроля, программа обязательных предварительных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью выявления устойчивой технологии очистки клубней топинамбура проведен анализ последовательности выполняемых технологических операций. Установлено, что критическими контрольными точками в линии первичной обработки топинамбура являются очистка и последующее хранение.

1. Изучены термический, механический и химический способы очистки топинамбура от покрывных тканей. Идентифицированы опасности при использовании способов очистки по биологическому, физическому и химическому видам.

2. Рассчитаны факторы опасностей для различных способов очистки. Для химического способа установлена опасность наличия остаточного количества щелочи, которая оценена в 12 баллов. Для механической очистки физическая опасность (попадание посторонних примесей и абразивного материала в толщу клубня) и биологическая опасность (микробная контаминация клубней при повреждении элементами оборудования) оценена 9 и 12 баллами. Для термического способа физическая опасность при проваривании клубнеплодов и механических повреждениях установлена в 6 баллов.

3. Получено, что наиболее устойчивым является термический способ очистки. Выявлены технологические операции, требующие контроля, и предложена программа обязательных предварительных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li W., Zhang J., Yu C., Li Q., Dong F., Wang G., Gu G., Guo Z. (2015). Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke. *Carbohydrate Polymers*, 121, 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.055>.

2. Wan X., Guo H., Liang Y., Zhou C., Liu Z., Li K., Niu F., Zhai X., Wang L. (2020). The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review. *Carbohydrate Polymers*, 246, 116589. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116589>.

3. Технологический потенциал продуктов глубокой переработки клубней топинамбура / Р.А. Дроздов, М.А. Кожухова, Т.В. Бархатова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 5–6 (371-372). С. 23–26. DOI 10.26297/0579-3009.2019.5-6.5. EDNPKKPEZ.

4. Mensink M.A., Frijlink H.W., Van Der Voort MK and Hinrichs WLJ, Inulin, a flexible oligosaccharide I: review of its physicochemical characteristics. *Carbohydr Polym* 130:405–419 (2015).

5. Манохина А.А. Механизация уборки топинамбура // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2017. № 2(78). С. 15–20. EDN YRHSEJ.

6. Макарова А.А., Пасько О.В. Формирование системы менеджмента безопасности с использованием цифровых технологий при производстве аналоговых мясных полуфабрикатов // Пищевая промышленность. 2020. № 3. С. 34–38.

7. Expected Outcomes for Certification to ISO 22000, a Food Safety Management System (FSMS) (1 ed.). International Organization for Standardization. 2022.

8. Chen H., Liu S., Chen Y. Food safety management systems based on ISO 22000:2018 methodology of hazard analysis compared to ISO 22000:2005. *Accred Qual Assur* 25, 23–37 (2020).

9. ГОСТ Р ИСО 22000-2019 Система менеджмента пищевой безопасности. Требования к любой организации, участвующей в цепи создания пищевой продукции. Введ. 2018-06-01. – М.: Стандартинформ, 2019. 47 с.

10. ГОСТ Р 51705.1-2001. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования. – Москва: Стандартинформ, 2009. 12 с.

11. Гаспарян И.Н., Трухачев В.И., Сычев В.Г., Мельников А.В., Горохов С.А. Основы агрономии. Учебник для СПО. – М.: Лань, 2023. 496 с.

12. Allayarov J. Современные технологии послеуборочной доработки клубней топинамбура // Science and innovation. 2022. Т. 1. № D8. С. 901–905.

13. Абдурахимова А.У., Бабатулаев Б.Б.

К вопросу разделения кожицы топинамбура от мякоти // *Universum: технические науки*. 2020. № 11–2 (80). С. 5–8.

14. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А. Методика проведения исследований по культуре топинамбура. *Агроинженерия*. 2018; (1):7–14.

Информация об авторах

И. А. Бакин – доктор технических наук, профессор кафедры «Процессов и аппаратов перерабатывающих производств» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

А. А. Макарова – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Процессов и аппаратов перерабатывающих производств» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Ш. В. Гаспарян – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

REFERENCES

1. Li, W., Zhang, J., Yu, C., Li, Q., Dong, F., Wang, G., Gu, G. & Guo, Z. (2015). Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke. *Carbohydrate Polymers*, (121), 315-319. doi: org/10.1016/j.carbpol.2014.12.055.

2. Wan, X., Guo, H., Liang, Y., Zhou, C., Liu, Z., Li, K., Niu, F., Zhai, X., Wang, L. (2020). The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review. *Carbohydrate Polymers*, (246), 116589. Doi : org : org/10.1016/j.carbpol.2020.116589.

3. Drozdov, R.A., Kozhukhova, M.A., Barkhatova, T.V., Khripko, I.A., Drozdova, T.A. (2019). Technological potential of products of deep processing of jerusalem artichoke. *Izvestiya vuzov. Food technology*. (5-6), 371-372. 23-26. DOI: 10.26297/0579-3009.2019.5-6.5.

4. Mensink, M.A., Frijlink, H.W., Van Der Voort, M.K., Hinrichs, W.L.J. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide I: review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, (130), 405-419. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.05.026.

5. Manokhina, A.A. (2017). Mechanization of jerusalem artichoke harvesting. *Vestnik of federal state educational establishment of higher professional education "Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin"*. (2), 15-20.

6. Makarova, A.A., Pasko, O.V. (2020). The formation of a security management system using digital technology in the production of analog meat semi-finished products. *Food industry*, (3), 34-38.

7. Expected Outcomes for Certification to ISO 22000, a Food Safety Management System (FSMS). (2022). International Organization for Standardization.

8. Chen, H., Liu, S., Chen, Y. (2020). Food safe-

ty management systems based on ISO 22000:2018 methodology of hazard analysis compared to ISO 22000:2005. Accreditation and Quality Assurance, (25), 23-37. DOI: 10.1007/s00769-019-01409-4.

9. Food safety management systems. Requirements for any organization in the food chain. GOST R ISO 22000-2019. from 1 Jun. 2018. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

10. Quality systems. HACCP principles for food products quality management. General requirements. GOST R 51705.1-2001. from 1 May. 2009. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

11. Gasparyan, I.N., Trukhachev, V.I., Sychev, V.G., Melnikov, A.V., Gorokhov, S.A. (2023). Основы агрономии : учебник. Moscow : Lan. (In Russ.). ISBN 978-5-507-46100-4.

12. Allayarov, J., Ochilov, M., Kuzieva, G., Buronova, D. (2022). Modern technologies of post-harvest refinement of jerusalem artichoke tubers. Science and innovation, (1), 901-905. doi: 10.5281/zenodo.7443284.

13. Abdurakhimova, A.U., Babatulaev, B.B. (2020). On the issue of separating the jerusalem artichoke peel from the pulp. Universum: Technical Sciences. (11-2), 5-8.

14. Starovoitov, V.I., Starovoitova, O.A., Manokhina, A.A. (2018). Methodology of doing research on jerusalem artichoke crops. Vestnik of federal state educational establishment of higher professional education "Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin". (1), 7-14.

Information about the authors

I.A. Bakin - Doctor of Technical Science, Professor of the Department of «Processes and Equipment of Processing Productions» Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

A.A. Makarova - Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of «Processes and Equipment of Processing Productions» Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

Sh. Gasparyan - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Storage and Processing of Horticultural and Plant Products», Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.661.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.004



ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Александра Сергеевна Захарова¹, Светлана Ивановна Конева²,
Лариса Егоровна Мелёшкина³

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

¹ zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>

² skoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

³ meleshkina_le@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0812-3630>

Аннотация. Целью работы являлось изучение влияния нетрадиционного сырья на формирование качества и пищевую ценность хлебобулочных изделий функционального назначения. В работе использовались стандартные и общепринятые методики. Представлены результаты проведенных экспериментов по изучению влияния муки из семян киноа и кэроба в качестве рецептурных ингредиентов мучных многокомпонентных смесей на органолептические и физико-химические показатели качества сдобных булочек. Установлено, что использование данного нетрадиционного сырья способствует изменению вкуса, цвета и аромата сдобных булочек, увеличивает влажность и кислотность готовой продукции, не оказывает существенного влияния на формоустойчивость, массовую долю сахара и жира в пересчете на сухое вещество, требует корректировки технологических режимов производства. Доказано, что использование муки из семян киноа и кэроба в составе мучных многокомпонентных смесей способствует получению хлебобулочных изделий функционального назначения. Разработанные изделия являются источником пищевых волокон (содержание пищевых волокон составляет 3,5 г на 100 г продукта), источником марганца и витамина Е (более 15 % от суточной потребности в минеральном веществе, витамине на 100 г готовой продукции). На сдобные булочки разработана и утверждена в установленном порядке нормативная документация – СТО 02067824-007-2023.

Ключевые слова: киноа, кэроб, мучные многокомпонентные смеси, функциональные изделия, сдобные хлебобулочные изделия, булочки, сдоба, качество, пищевая ценность, суточная потребность.

Благодарности: авторы благодарят за финансовую поддержку Минобрнауки РФ (тема № 075-00316-20-01, FZMM2020-0013, мнемокод 0611-2020-013)

Для цитирования: Захарова А. С., Конева С. И., Мелёшкина Л. Е. Влияние нетрадиционного сырья на формирование качества и пищевую ценность хлебобулочных изделий функционального назначения // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 34–40. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.004. EDN: <https://elibrary.ru/OXXLGA>.

Original article

INFLUENCE OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS ON FORMATION OF QUALITY AND NUTRITIONAL VALUE OF FUNCTIONAL BAKERY PRODUCTS

Alexandra S. Zakharova¹, Svetlana I. Koneva², Larisa E. Meleshkina³

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

© Захарова А. С., Конева С. И., Мелёшкина Л. Е., 2023

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

¹ zakharovatzp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>

² skoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

³ meleshkina_le@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0812-3630>

Abstract. *The aim of the work was to study the influence of non-traditional raw materials on the formation of quality and nutritional value of bakery products for functional purposes. Standard and generally accepted methods were used in the work. The results of experiments conducted to study the effect of flour from quinoa and carob seeds as the structural ingredients of flour multicomponent mixtures on the organoleptic and physico-chemical quality indicators of muffins are presented. It has been established that the use of this unconventional raw material contributes to a change in the taste, color and aroma of muffins, increases the humidity and acidity of the finished product, has no significant effect on shape stability, the mass fraction of sugar and fat in terms of dry matter, requires adjustment of technological modes of production. It is proved that the use of flour from quinoa and carob seeds as part of flour multicomponent mixtures contributes to the production of functional bakery products.*

Keywords: *quinoa, carob, flour multicomponent mixtures, functional products, bakery products, buns, muffins, quality, nutritional value, daily requirement.*

Acknowledgements: *This work was supported by the project 075-00316-20-01 (FZMM-2020-0013, mnemonic code 0611-2020-013) from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.*

For citation: Zakharova, A. S., Koneva, S. I. & Meleshkina, L. E. (2023). Influence of unconventional raw materials on formation of quality and nutritional value of bakery products of functional purpose. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 34-40. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.004. EDN: <https://elibrary.ru/OXXLGA>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует общемировая тенденция оптимизации технологических процессов производства мучных изделий с целью уменьшения энерго- и трудозатрат, в том числе на хранение и подготовку сырья, сокращения продолжительности производственных циклов, улучшения санитарно-гигиенического состояния цехов, использования высокоэффективных технологий, повышения потребительских свойств и пищевой ценности готовой продукции.

Использование мучных многокомпонентных смесей позволяет добиться практически всех вышеперечисленных целей, экономически и технологически оправдано и находит все большее применение в развитых странах, в том числе в Российской Федерации. Над созданием мучных многокомпонентных смесей для производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности, в том числе функциональной направленности, работают многие специалисты хлебопекарной промышленности. В состав смесей включают не только традиционные компоненты, пищевые добавки и улучшители, но и нетрадиционные источники макро- и микронутриентов. Примером таких источников могут служить семена киноа и кэроб, которые относительно недавно появились на российском рынке и весьма востребованы у приверженцев здорового питания [1–3].

Киноа (лат. *Chenopodium quinoa*) или Квинóа, или Кйнва – псевдозерновая культура, традиционно произрастающая на терри-

тории Южной Америки. Культура достаточно древняя и почитаемая, благодаря своей питательной ценности, вкусовым достоинствам и неприхотливости в возделывании, прозванная «матерью всех семян», «золотым зерном инков» [4–6]. Отличительной особенностью семян киноа является высокое содержание белка (от 14,2 % до 20 % в зависимости от сорта), аминокислотный состав которого характеризуется повышенным содержанием следующих незаменимых аминокислот: валина, лейцина, треонина, лизина, изолейцина и фенилаланина. Липидный состав семян киноа представлен в основном полиненасыщенными жирными кислотами, в том числе линолевой и линоленовой. Семена киноа не содержат глютена, что делает культуру весьма перспективной для создания продуктов питания для больных целиакией. Киноа – ценный источник минеральных веществ (кальция, железа, цинка, меди, магния, марганца), витаминов В1, В2, В9, К и т.д. [7–10].

В семенах киноа много пищевых волокон, в том числе растворимых, способных оказывать опосредованный пребиотический эффект в кишечнике человека, стимулируя развитие микробиоты, предотвращая развитие дисбиотических нарушений. Известно о положительном воздействии продуктов питания из киноа при ожирении, метаболическом синдроме и осложнениях, связанных с сахарным диабетом 2 типа [11].

Кэроб – измельченные семена рожкового дерева, являющиеся ценным источником пищевых волокон, сахаров и биологически активных соединений с выраженной антиоксидантной активностью [12].

Все вышеперечисленное позволяет рассматривать киноа и кэроб в качестве перспективных ингредиентов при создании мучных многокомпонентных смесей для производства хлебобулочных изделий.

Целью представленных исследований являлось изучение влияния муки из семян киноа и кэроба на формирование качества и пищевую ценность хлебобулочных изделий функционального назначения.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований выступали:

- сдобные булочки, приготовленные на основе экспериментальной мучной смеси № 1, которая содержала в своем составе муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта и муку из семян киноа белого цвета в количестве 3 %, 5 %, 7 %, 9 %, 11 % взамен части муки;

- сдобные булочки, приготовленные на основе экспериментальной мучной смеси № 2, которая содержала в своём составе муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта, а также смесь из кэроба необезжиренного и муки из семян киноа черного цвета в соотношении 70:30 в количестве 3 %, 5 %, 7 %, 9 %, 11 % взамен части муки. Соотношение кэроба и муки из семян киноа черного цвета (70:30) было установлено ранее в результате проведения ряда экспериментов;

- двухцветные витые булочки, состоящие из светлого полуфабриката, приготовленного на основе смеси № 1 и темного полуфабриката, приготовленного на основе смеси № 2;

- сдобные булочки (контрольные образцы), выпеченные из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта.

В качестве базовой была использована рецептура сдобной булочки «Домашняя».

Муку из семян киноа готовили в лабораторных условиях путем измельчения семян киноа черного и белого цвета до крупности 40–190 мкм, далее смешивали с мукой в заданном соотношении.

Приготовление теста осуществляли безопарным способом. Замес теста осуществляли в лабораторной тестомесилке У1-ЕТВ.

Экспериментальные образцы булочек были выпечены в лабораторной хлебопекарной печи конвекционного типа UNOXXB 693 (UNOX, Италия).

Оценку качества выпеченных изделий проводили через 16 часов после выпечки.

В работе использовались стандартные методики: органолептические показатели качества определяли по ГОСТ 5667-65, массовую долю влаги – по ГОСТ 21094-75, кислотность – по ГОСТ 5670-96. Дополнительно определяли формоустойчивость и удельный объем булочек, используя общепринятые в отрасли методики. Массовую долю сахара и жира в пересчете на сухое вещество определяли расчетным путем. В ходе проведения исследований была осуществлена дегустационная оценка полученной продукции с использованием 30 балльных шкал.

Пищевую ценность полученных изделий оценивали, используя базы данных «Химический состав продовольственного сырья и пищевых продуктов», «Нормы физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах для различных групп населения» [13, 14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения влияния муки из семян киноа на формирование качества сдобы было установлено, что использование смеси № 1 при производстве сдобных булочек не оказывало заметного влияния на вкус, запах, цвет и состояние мякиша полученных изделий. Вероятно, это объясняется тем, что используемая в качестве обогащающей добавки мука из семян киноа белого цвета изначально имела белый цвет с легким кремовым оттенком, не выраженный аромат, свойственный данной культуре и вкус с лёгким оттенком горечи. Все эти особенности муки из семян киноа были перекрыты большим количеством сахара и жира, входящими в рецептуру сдобы.

При использовании в процессе тестоприготовления смеси № 2 было зафиксировано существенное изменение цвета полученных булочек прямо пропорционально количеству кэроба и муки из семян черного киноа в составе смеси. Цвет булочек менялся от светлого до темно-коричневого, т.к. кэроб изначально имел насыщенный коричневый цвет. Кроме того, мука из семян черного киноа имела в своем составе выраженные черные отрубьянистые частицы оболочек. При использовании смеси кэроба и киноа в количестве более 7 % черные отрубьянистые частицы ухудшали внешний вид булочек. Именно эти особенности смеси № 2 обуславливают возможность использования данного полуфабриката только при производстве цветной сдобы.

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Стоит отметить, что пористость мякиша была развитая, однородная и равномерная во всех полученных изделиях.

Запах и вкус сдобных булочек приобретали шоколадные оттенки также пропорционально количеству кэроба и киноа в смеси. Вероятно, это связано с тем, что используемый в качестве рецептурного ингредиента смеси № 2 кэроб обладал выраженным шоколадным вкусом и ароматом.

Фотография сдобной булочки из смеси № 1 (7 % муки из семян киноа) приведена на рисунке 1, а, из смеси № 2 (7 % смеси кэроба и киноа) – на рисунке 1, б.



Рисунок 1 – Фотографии сдобных булочек

Figure 1 – Photos of muffins

Дегустационная оценка показала, что больше всего потребителям понравились булочки, выпеченные на основе смеси № 2 (при содержании в ней смеси кэроба и киноа в количестве 7 % взамен части муки). Всем булочкам, выпеченным на основе смеси № 1, была присвоена отличная категория качества.

Изменение физико-химических показателей качества сдобных булочек при использовании в процессе тестоприготовления смеси № 1 и смеси № 2 представлено в таблице 1.

Как видно из представленных в таблице 1 данных, использование в процессе тестоприготовления смеси № 1 привело к увеличению влажности готовой продукции, чем больше в составе смеси было муки из семян киноа, тем выше была влажность булочек. Вероятно, это объясняется более высокой водопоглотительной способностью смеси из-за повышенного содержания пищевых волокон в муке из семян киноа, которые измельчались вместе с оболочками.

Таблица 1 – Физико-химические показатели качества сдобных булочек, приготовленных на экспериментальных мучных многокомпонентных смесях

Table 1 – Physico-chemical indicators of the quality of muffins prepared on experimental flour multi-component mixtures

Наименование показателя	Фактическое значение					
	Смесь №1 / Смесь № 2, % обогащающих добавок в смеси					
	0	3	5	7	9	11
Массовая доля влаги, %	32,5/32,3	32,8/32,8	32,9/33,4	33,1/33,9	33,3/34,2	33,7/34,8
Кислотность, град	1,8/2,0	1,8/2,0	1,9/2,5	1,9/2,5	2,0/3,0	2,2/3,0
Удельный объем, см ³ /г	2,6/2,3	2,6/2,4	2,6/2,5	2,7/2,5	2,7/2,5	2,7/2,4
Формоустойчивость, Н/Д	0,62/0,60	0,63/0,58	0,64/0,56	0,63/0,54	0,62/0,52	0,60/0,50

Следует отметить, что тесто, несмотря на более высокую влажность, не разжижалось, тестовые заготовки хорошо держали форму в процессе брожения и расстойки, некоторое изменение формоустойчивости полученных изделий не превышало погрешности используемой методики и не являлось значимым.

Небольшое увеличение кислотности и удельного объема булочек связано с интенсификацией процесса брожения за счет дополнительных сахаров, витаминов и минеральных веществ, вносимых с обогащающей добавкой в тесто.

Использование мучной смеси № 2 также способствовало увеличению влажности готовой продукции, вероятно из-за высокой водопоглотительной способности смеси кэроба и киноа, благодаря высокому содержанию пищевых волокон. Кислотность булочек существенно возрастала, это можно объяснить

высоким содержанием органических кислот в кэробе. Некоторое увеличение удельного объема и снижение формоустойчивости объясняется расслаблением клейковинного каркаса теста, что было экспериментально доказано при изучении влияния смеси кэроба и киноа на реологические свойства полуфабрикатов [15].

Массовая доля сахара и жира в пересчете на сухое вещество в сдобных булочках при использовании мучных многокомпонентных смесей № 1 и № 2 остались на уровне контрольного образца, поскольку в рецептуре количество сахара белого и маргарина не изменялось.

Следует отметить, что использование мучных многокомпонентных смесей в процессе тестоприготовления требовало увеличения продолжительности замеса полуфабрикатов, так как время образования теста увеличивалось.

Таким образом, было установлено, что наилучшие дозировки обогащающих добавок в экспериментальной мучной смеси № 1 и смеси № 2 при производстве сдобных булочек составляют 7 % взамен части муки пшеничной высшего сорта.

Далее была произведена выпечка двухцветного сдобного хлебобулочного изделия (двухцветная витая сдоба).

В результате изучения органолептических показателей качества полученной продукции было установлено, что сдоба имеет привлекательный и необычный внешний вид, приятный шоколадный вкус и аромат. В результате дегустационной оценки продукции была присвоена «отличная» категория качества. Физико-химические показатели качества двухцветной сдобы соответствовали требованиям, предъявляемым к данному виду продукции.

Фотографии полученных изделий приведены на рисунке 1.



Рисунок 2 – Фотографии сдобных булочек из смеси № 1 и № 2

Figure 2 – Photos of pastry rolls from a mixture of No. 1 and No. 2

Данные расчета пищевой ценности и степень удовлетворения суточной потребности в основных пищевых веществах и энергии при потреблении 100 г сдобных булочек на основе смеси № 1 и № 2 представлены в таблице 2. При расчетах были использованы средние нормы физиологической потребности в основных пищевых веществах и энергии для женщин.

Таблица 2 – Пищевая ценность сдобных булочек, приготовленных на экспериментальных мучных многокомпонентных смесях

Table 2 – Nutritional value of muffins prepared on experimental flour multicomponent mixtures

Показатели	Норма, согласно МР 2.3.1.0253-21 (в сутки) [16]*	Образец			
		Контроль		Булочка витая сдобная из мучных многокомпонентных смесей № 1, № 2	
		Пищевая ценность 100 г изделия	Степень удовлетворения суточной потребности, %	Пищевая ценность 100 г изделия	Степень удовлетворения суточной потребности, %
Белки, г	75	8	11	7,5	10
Жиры, г	78,5	12	15	12	15
Углеводы, г	336,5	65	19	62	18
Пищевые волокна, г	25	2,5	10	3,8	15
Калий, мг	3500	106	3	128	4
Кальций, мг	1000	19	2	25	3
Магний, мг	420	14	3	20	5
Фосфор, мг	700	74	11	82	12
Железо, мг	18	1	6	1	6
Цинк, мг	12	0,5	4	0,5	4
Марганец, мг	2	0,5	25	0,5	25
Селен, мкг	55	4,5	8	4,5	8
Медь, мг	1	0,1	10	0,1	10
Витамин В1, мг	1,5	0,1	7	0,1	7
Витамин Е, мг. ток.экв.	15	4,5	30	4	27
Ккал/ кДж	2350/9839	404/1691	17	384/1608	16

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Как видно из представленных в таблице 2 данных, использование мучных многокомпонентных смесей № 1, № 2 способствовало увеличению содержания в готовых булочках пищевых волокон на 40 %, калия – на 21 %, кальция – на 32 %, магния – на 43 %, фосфора – на 11 %. Содержание железа, цинка, марганца, селена, меди, витаминов В1, Е осталось на уровне контрольного образца. Энергетическая ценность полученной сдобы была несколько ниже, чем у сдобной булочки без обогащающих добавок.

ВЫВОДЫ

Таким образом, было изучено влияние муки из семян киноа, кэроба на формирование качества и пищевую ценность хлебобулочных изделий. Установлено, что использование разработанных многокомпонентных смесей, содержащих в своем составе искомые ингредиенты, оказывает выраженное влияние на внешний вид, вкус и аромат хлебобулочных изделий, способствует увеличению влажности и кислотности сдобных булочек, требует корректировки технологических режимов производства хлебобулочных изделий. Использование нетрадиционного растительного сырья в качестве рецептурных ингредиентов мучных многокомпонентных смесей позволило получить изделия заданного химического состава функционального назначения.

Оценка отличительных признаков и эффективности полученной пищевой продукции по ГОСТ Р 55577-2013 позволила сделать вывод, что разработанные хлебобулочные изделия являются источником пищевых волокон (содержание пищевых волокон составляет 3,5 г на 100 г продукта), источником марганца и витамина Е (более 15 % от суточной потребности в минеральном веществе, витамине на 100 г готовой продукции).

На сдобные булочки разработана и утверждена в установленном порядке нормативная документация – СТО 02067824-007-2023.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка хлебобулочного изделия повышенной пищевой ценности / С.Д. Божко, Т.А. Ершова, А.Н. Чернышова [и др.] // Ползуновский Вестник. 2023. № 1. С. 37–44. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.005>.
2. Сокол Н.В., Санжаровская Н.С. Использование натуральных биокорректоров для повышения пищевой и биологической ценности хлеба // Ползуновский Вестник. 2022. № 4. С. 16–23. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.002>.

3. Моделирование и оптимизация методом математического планирования состава композитных смесей для производства хлеба повышенной пищевой и биологической ценности / В.Ю. Айрумян, Н.В. Сокол, Е.А. Ольховатов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2020. № 5 (64). С. 40–45. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-64-5-40-45>.

4. Бец Ю.А., Наумова Н.Л. Разработка сдобного изделия с применением цельнозерновой муки киноа белой // ВЕСТНИК КамчатГТУ, 2020. № 51. С. 35–39. DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-35-39.

5. Абдуллаева М.С., Надточий Л.А. Оценка пищевой ценности культуры киноа // Символ науки. 2016. № 1–2 (13). С. 9–11.

6. Rao N.K. (2016). "Quinoa: a future-proof crop for climate smart agriculture," in Global Forum for Innovations in Agriculture-2016, ed R. Choukr-Allah (Abu Dhabi).

7. Eric N. Jellenet all. Prospects for Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd.) Improvement Through Biotechnology // Biotechnology of Neglected and Underutilized Crops. 2013. Vol. 3. P. 173–201.

8. Hirose Y., Fujita T., Tomoyuki I. [et al.]. Antioxidative properties and flavonoid composition of Chenopodium quinoa seeds cultivated in Japan // Food Chem. 2010. Vol. 119, № 4. P. 1300–1306.

9. Filho A.M., Pirozi M.R., Da Silva Borges J.T. [et al.]. Qui-noa: nutritional, functional and antinutritional aspects // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2015. Vol. 57, № 8. P. 1618–1630.

10. Diana V., Ceccato H. Daniel Bertero and Diego Batlla. Environmental control of dormancy in quinoa (Chenopodium quinoa) seeds: two potential genetic resources for pre-harvest sprouting tolerance // Seed Science Research. 2011. Vol. 21. P. 133–141.

11. Маркова Ю.М., Сидорова Ю.С. Зерновые продукты из амаранта, киноа и гречихи: роль в питании человека и поддержке кишечного микробиома // Вопросы питания. 2022. № 6. С. 17–29.

12. Nasar-Abbas, S.M. [et al.]. Carob kibble: a bioactive-rich food ingredient // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2016. Vol. 15 (1). P. 63–72.

13. Свидетельство о государственной регистрации базы данных. Химический состав продовольственного сырья и пищевых продуктов / Мусина О.Н., Нагорных Е.М., Мелёшкина Л.Е. [и др.]; заявитель и правообладатель : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова». № 2021622647РФ; заявл. 17.11.2021; опубл. 24.11.2021. 2МБ.

14. Свидетельство о государственной регистрации базы данных. Нормы физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах для различных групп населения / Мусина О.Н., Нагорных Е.М. ; заявитель и правообладатель : Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, № 2022622121РФ; заявл. 21.06.2022; опубл. 23.08.2022. 1,2 МБ.

15. Черное киноа и кэроб как функциональные ингредиенты мучных смесей для производства сдобы / А.С. Захарова, С.И. Конева, Л.Е. Мелешкина // Вестник КрасГАУ. 2021. № 7 (172). С. 198–203.

16. МР 2.3.1. 0253-21 «Нормы физиологической потребности в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации : дата введения 22 июля 2021 г. Москва : Роспотребнадзор, 2021. 72 с.

Информация об авторах

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

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

Л. Е. Мелешкина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Bozhko, S.D. [et. al]. (2023). Development of a bakery product of increased nutritional value. Polzunovskiy Vestnik. (1). 37-44. (In Russ). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.005>.

2. Sokol, N.V. & Sanzharovskaya, N.S. (2022). The use of natural biocorrectors to increase the nutritional and biological value of bread. Polzunovskiy Vestnik.(4). 16-23. (In Russ). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.002>.

3. Ayrumyan, V.Yu. Sokol, N.V., Olkhovtsov, E.A. (2020). Modeling and optimization by the method of mathematical planning of the composition of composite mixtures for the production of bread of increased nutritional and biological value. Technology and commodity science of innovative food products. 5 (64). 40-45. (In Russ). <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-64-5-40-45>.

4. Betz, Yu.A., Naumova, N.L. (2020). Development of a pastry product using whole-grain white quinoa flour. BULLETIN OF Kamchatka State Technical University. (51). With.

6. Rao, N.K. (2016). "Quinoa: a future-proof crop for climate smart agriculture," in Global Forum for Innovations in Agriculture-2016, ed R. Choukr-Allah (Abu Dhabi).

7. Eric, N. Jellenet all. (2013). Prospects for Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd.) Improvement Through Biotechnology. Biotechnology of Neglected and Underutilized Crops. 3 173–201.

8. Hirose, Y., Fujita, T., Tomoyuki, I. [et al.]. (2010). Antioxidative properties and flavonoid compo-

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

sition of Chenopodium quinoa seeds cultivated in Japan. Food Chem. 119(4), 1300-1306.

9. Filho, A.M., Pirozi, M.R., Da Silva Borges, J.T. [et al.]. (2015). Quinoa: nutritional, functional and antinutritional aspects. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. (57), 8. 1618-1630. D.

10. Diana, V. Ceccato, H. Daniel Bertero and Diego Batlla. (2011). Environmental control of dormancy in quinoa (Chenopodium quinoa) seeds: two potential genetic resources for pre-harvest sprouting tolerance. Seed Science Research. (21). 133-141.

11. Markova, Yu.M. & Sidorova, Yu.S. (2022). Grain products from amaranth, quinoa and buckwheat: the role in human nutrition and support of intestinal microbiome. Nutrition issues. (6). 17-29.

12. Nasar-Abbas, S.M. [et al.]. (2016). Carob kibble: a bioactive-rich food ingredient. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 15 (1). 63-72.

13. Musina, O.N., Nagornykh, E.M., Meleshkina, L.E., etc. (2021). Certificate of state registration of the database. Chemical composition of food raw materials and food products applicant and right holder : Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Polzunov Altai State Technical University". No. 2021622647RF; application 17.11.2021; publ. 24.11.2021. 2MB. (In Russ).

14. Musina, O.N. & Nagornykh, E.M. (2022). Certificate of state registration of the database. Norms of physiological needs in energy, food and biologically active substances for various groups of the population; applicant and copyright holder: Polzunov Altai State Technical University. 2022622121RF; published on 21.06.2022 ; published on 23.08.2022.1.2 Mb.

15. Zakharova, A.S. Koneva, S.I., Meleshkina, L.E. (2021). Black cinema and carob as functional ingredients of flour mixtures for the production of muffins. Bulletin of KrasGAU. 7 (172). 198-203. (In Russ).

16. "Norms of physiological energy and food requirements for various population groups of the Russian Federation: date of introduction (2021). MR 2.3.1. 0253-21July 22, Moscow: Rosпотребнадзор.

Information about the authors

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

S.I. Koneva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

L.E. Meleshkina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Food technology", Polzunov Altai State Technical University.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.005



МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ ИЗ АРКТИЧЕСКОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, ОБЛАДАЮЩЕЙ АНТИОКСИДАНТНЫМ И ИММУНОКОРРЕКТИРУЮЩИМ СВОЙСТВАМИ

Светлана Александровна Белина

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
belinasa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0142-2905>

Аннотация. Изучение микронутриентного состава Арктического растительного сырья показало наличие большого количества биологически активных веществ, а также возможность включения их в состав функциональных продуктов питания в качестве функциональных ингредиентов. Многие дикорастущие растения отмечены тем, что в состав входит большое количество пищевых волокон, большое количество не синтезирующихся в организме человека флавоноидов, которые хорошо известны антиоксидантной активностью.

В период экономических санкций против России на предприятиях общественного питания наблюдается нехватка пищевых добавок для производства качественной продукции. Одним из способов решения этой задачи является моделирование комплексных пищевых добавок функционального назначения из ценного арктического растительного сырья.

В данной работе представлена разработка комплексной пищевой добавки из арктического растительного сырья, содержащая значительное количество ценных биологических веществ и прежде всего, пищевых волокон. Разработанная добавка в виде микрокапсул обладает лучшей биоусвояемостью, содержит большее количество нутриентов, за счет наличия капсульной оболочки. Обладает антиоксидантными и иммунокорректирующими свойствами и предназначена для улучшения потребительских свойств, благоприятного воздействия на организм, повышения резистентности. Функциональные блюда, содержащие данную пищевую добавку, можно использовать, прежде всего, для коренного и приезжего населения Арктической зоны. Наличие в составе фенольных соединений способствует регуляции защитно-адаптационного потенциала организма.

Ключевые слова: комплексная пищевая добавка, арктическое сырье, сабельник болотный, ягоды водяники, ягоды клюквы.

Для цитирования: Белина С. А. Моделирование комплексной пищевой добавки из арктического растительного сырья, обладающей антиоксидантным и иммунокорректирующим свойствами // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 41–46. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.005. EDN: <https://elibrary.ru/BHJURM>.

MODELING OF A COMPLEX FOOD SUPPLEMENT FROM ARCTIC PLANT RAW MATERIALS WITH ANTIOXIDANT AND IMMUNO-CORRECTING PROPERTIES

Svetlana A. Belina

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
belinasa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0142-2905>

Abstract. The study of the micronutrient composition of the Arctic plant raw materials showed the presence of a large number of biologically active substances, as well as the possibility of including them in the composition of functional foods as functional ingredients. Many wild plants are marked by

the fact that the composition includes a large amount of dietary fiber, a large number of flavonoids that are not synthesized in the human body, which are well known for their antioxidant activity.

During the period of economic sanctions against Russia, there is a shortage of food additives at catering enterprises for the production of quality products. One of the ways to solve this problem is the modeling of complex functional food supplements from valuable arctic vegetable raw materials.

This paper presents the development of a complex food additive from arctic plant raw materials containing a significant amount of valuable biological substances and, above all, dietary fiber. The developed supplement in the form of microcapsules has better bioavailability, contains more nutrients due to the presence of a capsule shell. It has antioxidant and immunocorrective properties and is intended to improve consumer properties, have a beneficial effect on the body, and increase resistance. Functional meals containing this nutritional supplement can be used primarily for the indigenous and visiting population of the Arctic zone. The presence of phenolic compounds in the composition contributes to the regulation of the protective and adaptive potential of the body.

Keywords: *complex food additive, Arctic raw materials, marsh saber, watermelon berries, cranberry berries.*

For citation: Belina, S.A. (2023). Modeling of a complex food additive from arctic plant raw materials with antioxidant and immunocorrective properties. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 41-46. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.005. EDN: <https://elibrary.ru/BHJURM>.

ВВЕДЕНИЕ

Арктическая зона – территория выраженного влияния суровых климатических условий на состояние здоровья населения. Для того чтобы укрепить здоровье населения, необходимо включать в их рационы питания продукты функционального назначения, произведенные на основе усовершенствованных технологий из местных арктических ресурсов [1].

Изучение микронутриентного состава арктического растительного сырья показало наличие большого количества биологически активных веществ, а также возможность включения их в состав в качестве функциональных ингредиентов [2–3].

Минеральные вещества и их соединения, которые входят в состав растений, принимают участие в различных обменных процессах, при этом образуют буферные системы, влияющие на пищевую ценность продукта. Растения являются поставщиками ещё одной группы биологически активных веществ: полифенолов, флавоноидов, изофлавонов и др. Данные минорные биологически активные вещества биорегулируют и стимулируют физиологические функции организма, при этом укрепляют межклеточные связи, проявляя антиоксидантное действие.

Многие дикорастущие растения отмечены тем, что в состав входит большое количество пищевых волокон, которые, в свою очередь, оказывают положительный эффект на перистальтику толстого кишечника. Помимо пищевых волокон, в растениях обнаружено большое количество не синтезирующихся в организме человека флавоноидов, которые хорошо известны антиоксидантной активностью [4].

Главным достоинством арктического растительного сырья считается то, что они обладают высокой адаптивностью к экстремальным погодным условиям. В связи с этим растения с различного рода заболеваниями встречаются крайне редко. По результатам большого количества исследований многих ученых был сделан вывод о том, что по химическому составу они даже опережают культивируемые растения [4].

Рынок по производству продуктов питания заставляет технологов предприятий находить новые функциональные пищевые ингредиенты и их комбинации, соблюдая при этом все технологические требования по выпуску продукции высокого качества. Решение этой задачи можно осуществить путем использования комплексных пищевых добавок функционального назначения из арктического растительного сырья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовались: корень сабельника болотного (сбор в п. Ягельный Надымского района ЯНАО); ягоды клюквы (сбор в п. Ягельный Надымского района ЯНАО); ягоды водяники (сбор в п. Ягельный Надымского района ЯНАО); витамин D3 500 МЕ (производитель ЗАО «Эвалар», г. Бийск); янтарная кислота (ГОСТ 6341-75); кальция хлорид (ГОСТ Р 55973-2014); альфа-Токоферола ацетат (производитель ЗАО «ЭКОлаб», г. Электрогорск); лецитин соевый (ГОСТ 32052-2013); жидкий пектин «Пекто» (г. Краснодар); гуммиорабик (производитель ООО «Локас», г. Санкт-Петербург).

Сублимационная сушка растительного сырья была проведена на лиофильной сушилке марки «АЛЬФА-1-4».

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2023

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ ИЗ АРКТИЧЕСКОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, ОБЛАДАЮЩАЯ АНТИОКСИДАНТНЫМ И ИММУНОКОРРЕКТИРУЮЩИМ СВОЙСТВАМИ

Выбор оптимальной рецептуры был осуществлен методом относительных линейных оценок. При этом сравнивали наиболее важные показатели витаминов (Витамин С и витамин Е) в каждой рецептуре с эталонными показателями.

Содержание в сырье и КПД растворимых и нерастворимых пищевых волокон определяли по ГОСТ Р 54014-2010.

Исследование химического состава сырья (по содержанию фосфолипидов, витаминов Е, С, D, калия, кальция) проводили с помощью метода капиллярного электрофореза на приборе «Капель-103Р».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Включение в состав пищевой добавки из арктического растительного сырья позволяет обогатить ее ценными нутриентами, а также пищевыми волокнами. После проведения литературного обзора было установлено, что растения, которые произрастают на территории Арктики, имеют в своем составе биологически активные вещества, флавоноиды, макро- и микронутриенты, органические кислоты, полифенольные соединения [5–10].

В таблице 1 представлен перечень арктического растительного сырья основных ингредиентов для создания комплексной пищевой добавки.

Таблица 1 – Выбор функциональных ингредиентов, произрастающих на территории арктической зоны

Table 1 – Selection of functional ingredients growing in the Arctic zone

Наименование растения	Полезные свойства
Корень сабельника болотного (лат. <i>Comarum palustre</i>)	Содержит большое количество калия и магния, а также большое количество пищевых волокон
Ягоды клюквы (лат. <i>Oxycoccus palustris</i>)	Усиливают выработку белков иммуноглобулинов, которые, в свою очередь, отвечают за иммунитет. Ягоды содержат большое количество витамина С. Оказывают желчегонное и адаптогенное действие
Ягоды водяники (лат. <i>Empetrum nigrum L.</i>)	Обладают адаптогенным и антиоксидантным свойствами

Растительное сырье было собрано в п. Ягельный Надымского района ЯНАО. Все собранные дикорастущие растения (ягоды водяники, корень сабельника болотного, ягоды клюквы) подвергались мойке и инспектированию, после чего высушивали в лио-

фильной сушилке марки «АЛЬФА-1-4» в течение 12 ч. Далее высушенное сырье измельчали до размеров 300–400 мкм.

В состав комплексной пищевой добавки были включены дополнительные ингредиенты, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень дополнительных ингредиентов и их назначение, входящих в состав комплексной пищевой добавки [11, 12]

Table 2 – The list of additional ingredients and their purpose, which are part of a complex food additive [11, 12]

Наименование ингредиента	Назначение
Лецитин соевый	Обладает эмульгирующими свойствами с антиоксидантным эффектом. В нем содержится большое количество фосфатидилхолинов и фосфатидилэтаноламинов к сумме фосфолипидов. Фосфолипиды участвуют в создании клеточных мембран, облегчают ликвидацию белка и жира в тканях, предупреждают жировой гепатоз печени
Альфа-токоферол ацетат (витамин Е)	Является антиоксидантом, а также предохраняет клетки организма от окислительных изменений, останавливает окисление ненасыщенных жирных кислот, снижает скорость синтеза холестерина
Янтарная кислота	Задерживает течение свободных радикальных процессов окисления липидов, положительно влияет на энергетический обмен в клетке. Обладает антиоксидантными свойствами
Витамин D ₃	Обладает иммуномодулирующим свойством. Регулирует уровень кальция и фосфатов в организме человека, тем самым предотвращает гипокальциемию и тетанию, снижает риск аутоиммунных заболеваний
Хлорид кальция	Ускоряет процессы гидратации основных нутриентов, тем самым укрепляет иммунитет

Для получения микрокапсул в качестве оболочки использовали фосфолипидно-пектиновую смесь, в которую был добавлен гуммиарабик.

Используя программный продукт Excel, были заданы критические показатели по содержанию важнейших нутриентов в ком-

плексной пищевой добавке, превышающие 15 % суточную норму потребления. Установлено несколько вариантов рецептур комплексной пищевой добавки антиоксидантного действия, отвечающих заданным показателям, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Варианты рецептур комплексной пищевой добавки из арктического сырья

Table 3 – Variants of formulations of a complex food additive from Arctic raw materials

Наименование компонентов	Варианты рецептур, г				
	I	II	III	IV	V
Лецитин соевый	10,0	8,0	5,0	4,0	3,2
Ягоды водяники (сублимированные, измельченные)	1,5	2,0	3,5	4,0	3,0
Ягоды клюквы (сублимированные, измельченные)	2,5	5,0	6,0	8,0	8,4
Корень сабельника болотного (сублимированный, измельченный)	3,0	2,0	3,0	2,0	3,0
Альфа-токоферол ацетат (витамин E)	1,0	1,0	0,5	0,3	0,1
Янтарная кислота	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2
Хлорид кальция	0,4	0,4	0,4	0,4	1,0
Витамин D ₃	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Фосфолипидно-пектиновая смесь с гуммиарабиком	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Выход	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0

Изготовление пищевой добавки проходило в два этапа.

Первый этап. Соевый лецитин с 10 %-м раствором хлорида кальция (CaCl_2) диспергируют при температуре 65 °С в течение 5 минут при интенсивном перемешивании в биореакторе. Затем вносят сухое измельченное растительное сырье (корень сабельника болотного, плоды шиповника, ягоды водяники) в определенном соотношении в соответствии с вариантом рецептуры, а также янтарную кислоту. Полученную смесь продолжают перемешивать в течение 10 мин, затем добавляют альфа-токоферол ацетат (витамин E) и витамин D₃. Все перемешивается в течение 5 минут. Затем полученную смесь охлаждают до $t = (24 \pm 1,5) \text{ }^\circ\text{C}$ и подвергают заморозке до $t = (-26 \pm 1,5) \text{ }^\circ\text{C}$. Затем смесь сублимируют в течение 12–14 ч при $t = (-55 \pm 1,5) \text{ }^\circ\text{C}$. Высушенный продукт измельчают до размера частиц не более 60–70 мкм и отправляют в герметичную вакуумную упаковку. Представленная технология изготовления ядра пищевой добавки отличается от аналогов созданием комплексной системы, полученной в биореак-

торе, способствующей повышенной взаимосвязи компонентов добавки, что приводит к увеличению биоусвояемости микронутриентов.

Второй этап. Полученные ядра покрываются фосфолипидно-пектиновой смесью с гуммиарабиком (в соотношении 0,4 : 0,4 : 0,2 соответственно) в фонтанирующих потоках для формирования внешней оболочки. На выходе получают микрокапсулы размером 80–90 мкм.

Чтобы определить количественные характеристики важных нутриентов и осуществить выбор оптимальной рецептуры, использовали метод относительных линейных оценок. При этом сравнивали наиболее важные показатели витаминов (Витамин С и витамин E) в каждой рецептуре с эталонными показателями. Наибольший коэффициент, отражающий количественные характеристики, установлен в рецептуре V.

В таблице 4 представлена сравнительная характеристика комплексной пищевой добавки в виде микрокапсул по сравнению со смесью аналогичных растительных компонентов.

Таблица 4 – Влияние нагревания в биохимическом реакторе на физико-химические показатели комплексной пищевой добавки (n = 3)

Table 4 – The effect of heating in a biochemical reactor on the physico-chemical parameters of a complex food additive (n = 3)

Наименование показателей	Значение показателей	
	Смесь ингредиентов	Комплексная пищевая добавка
Массовая доля фосфолипидов, %	1,50 ± 0,20	2,10 ± 0,20
Массовая доля альфа-токоферола ацетата, %	0,31 ± 0,15	6,35 ± 0,10

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ ИЗ АРКТИЧЕСКОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, ОБЛАДАЮЩАЯ АНТИОКСИДАНТНЫМИ И ИММУНОКОРРЕКТИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ

Пищевая добавка в виде комплексного соединения в отличие от смеси ингредиентов содержит большее количество альфа-токоферол ацетата на 6,04 %, а также имеет большие показатели содержания фофолипидов за счет того, что ядро добавки покрыто оболочкой. Благодаря покрытию ядра пице-

вой добавки увеличится биоусвояемость микронутриентов, которые содержатся в арктическом растительном сырье.

Был исследован физико-химический состав пищевой добавки, который представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Микронутриентный состав разработанной комплексной пищевой добавки массой 20 г (n = 5)

Table 5 – Micronutrient composition of the developed complex food additive weighing 20 g (n = 5)

Наименование БАВ	Массовая концентрация, мг	Суточная норма потребления согласно МР 2.3.1.0253-21	Доля от суточной нормы потребления, %
Пищевые волокна, г	7,8± 0,2	20,0	39,0
Флавоноиды	9,85 ± 0,5	30,0	32,8
Антоцианы	14,12 ± 1,75	50,0	28,2
Фосфолипиды, г	4,2 ± 0,1	7,0	60,0
Витамин С	43,5 ± 2,05	100,0	43,5
Витамин Е	6,3 ± 0,11	15,0	42,0
Витамин D ₃ , мкг	5,1 ± 0,2	15,0	34,0
Калий	528,7± 4,2	3500,0	15,1
Кальций	385,5± 5,0	1000,0	38,5

Установлено, что в комплексной пищевой добавке содержатся нутриенты, содержание которых превышает 15 % от суточной нормы потребления, что подтверждает функциональные свойства добавки: флавоноиды – 32,8 %, витамин Е – 42,0 % и витамин С – 43,5 %, следовательно, пищевая добавка об-

ладает антиоксидантными, иммунокорректирующими свойствами согласно ГОСТ 54059-2010.

В таблице 6 представлены физиологические свойства и применение разработанной комплексной пищевой добавки из арктического растительного сырья.

Таблица 6 – Применение и физиологические свойства комплексной пищевой добавки функционального назначения

Table 6 – Application and physiological properties of a complex functional food additive

Физиологические свойства	Использование
Антиоксидантные, иммунокорректирующие свойства	Мучные кондитерские изделия, мучные кулинарные изделия, хлебобулочные изделия, колбасные изделия

Разработанная комплексная пищевая добавка из арктического сырья в виде микрокапсул может быть включена в качестве функционального ингредиента (порция 20 г) в блюда для придания им антиоксидантных, иммунокорректирующих свойств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, была разработана рецептура и технология изготовления комплексной пищевой добавки из арктического растительного сырья в виде микрокапсул с размером 80–90 мкм. Согласно ГОСТ Р 54059-2010, разработанная комплексная пищевая добавка обладает функциональными свойствами, так как в химическом составе содержатся флавоноиды – 32,8 % от суточной нормы, витамин С – 43,5 % от суточной нормы, витамин Е – 42,0 % от суточной нормы. Комплексная пищевая добавка направлена на улучшение потребительских

свойств функциональных продуктов питания, усиление благоприятного воздействия на организм при повышении его резистентности, увеличение физической и умственной трудоспособности, облегчение состояния в процессе хронических заболеваний. Данную добавку можно включать в состав для обогащения различных продуктов массового спроса: хлебобулочные изделия, кондитерские изделия, мучные кулинарные изделия, изделия из рыбного и мясного фарша. Рекомендуемая суточная норма данной добавки – 20 г. Разработанные функциональные блюда с данной пищевой добавкой можно использовать для коренного и приезжего населения Арктической зоны, благодаря наличию в составе фенольных соединений, которые обладают антиоксидантным действием и участвуют в регуляции защитно-адаптационного потенциала организма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьева Е. А. Климатическая дискомфортность Дальнего Востока России и заболеваемость населения // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 2. С. 105–112. DOI: 10.31433/1605-220X-2018-21-2-105-112.
2. Применение растительного сырья арктической территории российской федерации для производства пряничных изделий / И.Т. Галина, Н.И. Кисвай, И.П. Корниенко [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2021. № 8. С. 188–195.
3. Продукты функционального назначения / Г.К. Альхамова, А.Н. Мазаев, Я.М. Ребезов, И.А. Шель, О.В. Зинина // Молодой ученый. 2014. № 12 (71). С. 62–65.
4. Андреева Н.В., Малогулова И.Ш. Виды шикши как перспективный источник БАВ в условиях Якутии // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 9. С. 51–52.
5. Мацейчик И.В., Лебедева Т.А. Использование продуктов растительного происхождения Сибирского региона при производстве блюд функционального назначения // Кухня Сибири : сб. материалов регион. науч.-практ. конф. Красноярск, 2004. С. 52–55.
6. Филатова С.Н. Сравнительный анализ содержания биологически активных веществ в дикорастущих сосудистых растениях севера Средней Сибири // Биологические ресурсы Крайнего Севера: изучение и использование : сб. науч. тр. СПб. : ГУАП, 2009. С. 143–150.
7. Ангиопротекторное и стресслимитирующее действие фитопрепаратов / О.Д. Барнаулов, М.Л. Послелова, С.О. Барнаулова // Психофармакология и биологическая наркология. 2005. Т. 5, № 1. С. 844–849.
8. Барнаулов О.Д. Сравнительная оценка влияния фитопрепаратов из растений флоры России на концентрацию инсулина и глюкозы в крови крыс с экспериментальным аллоксановым диабетом // Психофармакология и биологическая наркология. 2008. Т. 8, Вып. 3-4. С. 2484–2490.
9. Сербя Е.М., Волкова Г.С., Соколова Е.Н., Фурсова Н.А., Юраскина Т.В. Плоды брусники – перспективный источник биологически активных веществ // Теоретические аспекты хранения и переработки сельхозпродукции. 2018. № 4. С. 48–58.
10. Лютикова М.Н. Изучение состава биологически активных компонентов дикорастущих ягод *Vaccinium vitis-idaea* и *Oxycoccus palustris* в зависимости от степени их зрелости и условий хранения : дисс. ... канд. хим. наук. Сургут, 2013. 124 с.
11. Применение водных растворов неорганических солей для выделения склеротий спорыньи / В.Е. Сaitов, И.А. Устюжанин, А.В. Сaitов // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 38–42;
12. Лецитины в технологиях продуктов питания: монография / И.М. Жаркова, О.Б. Рудаков, К.К. Полянский, Ю.Ф. Росляков. Воронеж : ВГУИТ. 2015. 256 с.

Информация об авторах

С. А. Белина – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

REFERENCES

1. Grigorieva, E.A. (2018). Climatic discomfort of the Russian Far East and morbidity of the population. Regional problems. 21(2). 105-112. (In Russ.). DOI: 10.31433/1605-220X-2018-21-2-105-112.
2. Galina, I.T. [et al.]. (2021). The use of vegetable raw materials of the Arctic territory of the Russian Federation for the production of gingerbread products. Bulletin of KrasGAU. (8). 188-195. (In Russ.).
3. Alhamova, G.K., Mazaev, A.N., Rebezov, Ya.M., Shel, I.A. & Zinina, O.V. (2014). Products of functional purpose. Young scientist. 12 (71). 62-65. (In Russ.).
4. Andreeva, N.V. & Malogulova, I.Sh. (2013). Types of shiksha as a promising source of BAS in Yakutia. Modern high-tech technologies. (9). 51-52. (In Russ.).
5. Maciejchik, I.V. & Lebedeva, T.A. (2004). The use of plant products of the Siberian region in the production of functional dishes. Cuisine of Siberia: collection of materials region. Scientific and practical conference. Krasnoyarsk. 52-55. (In Russ.).
6. Filatova, S.N. (2009). Comparative analysis of the content of biologically active substances in wild vascular plants of the north of Central Siberia. Biological resources of the Far North: study and use: collection of scientific tr. SPb. : GUAP., 143-150. (In Russ.).
7. Barnaul, O.D., Pospelova, M.L. & Barnaul, S.O. (2005). Angioprotective and stress-limiting the effect of phytopreparations. Psychopharmacology and biological narcology. 5(1). 844-849. (In Russ.).
8. Barnaul, O.D. (2008). Comparative assessment of the effect of phytopreparations from plants of the flora of Russia on the concentration of insulin and glucose in the blood of rats with experimental alloxan diabetes. Psychopharmacology and biological narcology. 8(3-4). 2484-2490. (In Russ.).
9. Serba, E.M., Volkova, G.S., Sokolova, E.N., Fursova, N.A. & Yuraskina, T.V. (2018). Lingonberry fruits – a promising source of biologically active substances. Theoretical aspects of storage and processing of agricultural products. 4. 48-58. (In Russ.).
10. Lyutikova, M.N. (2013). Study of the composition of biologically active components of wild berries *Vaccinium vitis-idaea* and *Oxycoccus palustris* depending on their degree of maturity and storage conditions: diss. candidate of Chemical Sciences. Surgut. (In Russ.).
11. Saitov, V.E., Ustyuzhanin, I.A. & Saitov, A.V. (2017). The use of aqueous solutions of inorganic salts for the isolation of ergot sclerotia. Successes of modern natural science. (2). 38-42. (In Russ.).
12. Zharkova, I.M. Rudakov, O.B., Polyansky, K.K. & Roslyakov, Yu.F. (2015). Lecithins in food technologies: monograph. Voronezh: VSUIT. (In Russ.).

Information about the authors

S.A. Belina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Commodity Science and Food Technology, Tyumen Industrial University.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК663.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.006

 EDN: AJYZLU

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ ПЛОДОВЫХ ВОДОК ПРИ ХРАНЕНИИ

Людмила Николаевна Крикунова¹, Елена Васильевна Дубинина²,
Екатерина Владимировна Ульянова³, Ольга Николаевна Ободеева⁴

^{1, 2, 3, 4} Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

¹ oltiv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7335-0453>

² elena-vd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8364-9539>

³ k.uljanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7112-1614>

⁴ Obodeeva.olga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1068-4245>

Аннотация. Настоящая работа посвящена изучению процессов химической трансформации компонентов плодовых водок при хранении. В качестве объектов исследования использованы образцы абрикосовой, сливовой, кизиловой и вишнёвой водок. В исследованных образцах содержание основных летучих компонентов определяли методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором, а содержание дополнительных – методом газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрическим детектором (ГХ-МС). Показано, что в процессе длительного хранения основные летучие компоненты плодовых водок подвергаются трансформации, при которой происходит снижение концентраций ацетальдегида (на 50–60 %), метанола (на 7–15 %) и основных высших спиртов (на 20–30 %), а содержание этилацетата возрастает. Кроме того, установлено, что величина соотношения «1-пропанол/изобутанол+изоамилол» не меняется в процессе хранения и, следовательно, может быть использована в качестве одного из идентификационных критериев. Также показано, что бензальдегид, бензиловый спирт и линалоол присутствуют только в свежеприготовленных плодовых водках, в то время, как октаналь диэтилацеталь (продукт взаимодействия октилового альдегида с этанолом), напротив, обнаруживается в образцах после их хранения.

Ключевые слова: фруктовое косточковое сырьё, плодовые водки, летучие компоненты, идентификационные показатели, трансформация летучих компонентов при хранении.

Для цитирования: Трансформация летучих компонентов плодовых водок при хранении / Л.Н. Крикунова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 47–52. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.006. EDN: <https://elibrary.ru/AJYZLU>.

Original article

TRANSFORMATION OF VOLATILE COMPONENTS OF FRUIT BRANDY DURING STORAGE

Ludmila N. Krikunova¹, Elena V. Dubinina², Ekaterina V. Ulianova³,
Olga N. Obodeeva⁴

^{1, 2, 3, 4} All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS

¹ oltiv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7335-0453>

² elena-vd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8364-9539>

³ k.uljanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7112-1614>

⁴ Obodeeva.olga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1068-4245>

© Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Ульянова Е. В., Ободеева О. Н., 2023

Abstract. This work is devoted to the study of the processes of chemical transformation of the components of fruit brandy during storage. Samples of apricot, plum, Cornelian cherry and cherry brandy were used as objects of research. In the studied samples, the content of the main volatile components was determined by gas chromatography with a flame ionization detector, and the content of additional components was determined by gas chromatography in combination with a mass spectrometric detector (GC-MS). It is shown that during long-term storage, the main volatile components of fruit brandy undergo transformation, in which the concentrations of acetaldehyde (by 50-60%), methanol (by 7-15%) and the main higher alcohols (by 20-30%) decrease, and the content of ethyl acetate increases. In addition, it was found that the value of the ratio "1-propanol/isobutanol + Isoamyl alcohol" does not change during storage and, therefore, can be used as one of the identification criteria. It is also shown that benzaldehyde, benzyl alcohol and linalool are present only in freshly processed fruit brandy, while octanol diethyl acetal (the product of the interaction of octyl aldehyde with ethanol), on the contrary, is found in samples after their storage.

Keywords: fruit stone raw materials, fruit brandy, volatile components, identification indicators, transformation of volatile components during storage.

For citation: Krikunova, L.N., Dubinina, E.V., Ulianova, E.V. & Obodeeva, O.N. (2023). Transformation of volatile components of fruit brandy during storage. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 47-52. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.006. <https://elibrary.ru/AJYZLU>.

ВВЕДЕНИЕ

Качество и сохранение в течение длительного времени заявленных потребительских свойств спиртных напитков, как известно, определяется рядом факторов, среди которых важную роль отводят химическому составу компонентов купажа [1]. В состав купажа плодовых водок, как правило, входят фруктовый (плодовый) дистиллят и умягченная вода, иногда сахарный сироп и редко сахарный колер [2]. Особенность плодовых водок, в отличие от водок, производимых на основе этилового спирта-ректификата, заключается в присутствии в дистилляте большого количества летучих компонентов в значительных концентрациях, которые при смешивании с водой могут взаимодействовать с её компонентами. Кроме того, плодовые водки из различных видов фруктового сырья существенно различаются между собой как по химическому составу, так и по органолептическим характеристикам [3]. Прежде всего, эти различия обусловлены особенностями биохимического состава используемых фруктов [4]. Кроме основных компонентов биохимического состава сырья, таких как сахара, титруемые кислоты, а также пектиновые и фенольные вещества, на органолептические характеристики конечного продукта в значительной степени влияют ароматобразующие вещества. Обобщенные данные литературных источников [4–7] позволили сформировать представление об основных первичных ароматобразующих летучих компонентах, присутствующих в отдельных видах фруктового косточкового сырья. Данные вещества

относятся к шести классам – это карбонильные соединения (высококипящие альдегиды и кетоны), сложные эфиры высших спиртов и карбоновых кислот, высшие и ароматические спирты, лактоны, терпены и летучие фенолы.

При хранении плодовых водок перечисленные соединения могут подвергаться трансформации, что может отразиться на потребительских свойствах готовой продукции. Этот тезис особенно важен в связи с тем, что производитель обычно устанавливает неограниченный срок годности плодовых водок. В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» сроком годности является период времени, в течение которого пищевая продукция должна полностью соответствовать предъявляемым к ней требованиям безопасности, установленным данным техническим регламентом и (или) техническими регламентами Таможенного союза на отдельные виды пищевой продукции, а также сохранять свои потребительские свойства, заявленные в маркировке. По истечении данного срока пищевая продукция признаётся непригодной для использования по назначению.

Вместе с тем до настоящего времени отсутствуют необходимые комплексные исследования, позволяющие выявить химические изменения основных ароматобразующих компонентов плодовых водок из косточкового сырья при хранении. Поэтому целью настоящей работы явилось изучение изменений основных летучих компонентов и дополнительных ароматобразующих соединений, происходящих при хранении плодовых водок.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований являлись опытные образцы плодовых водок из абрикоса, вишни, кизила и сливы, выработанные на базе ВНИИПБиВП – до закладки на хранение (исходные образцы) и хранившиеся в течение трёх лет в вентилируемом помещении без воздействия прямого солнечного света при температуре 15–20 °С (образцы после хранения). Дополнительно были изучены изменения, происходящие при шестимесячном хранении образцов вишнёвой и сливовой водок. В работе использовали метод газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором для количественного определения концентраций основных летучих компонентов и метод ГХ-МС для качественного определения дополнительных ароматобразующих соединений [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе работы был проведён сравнительный анализ содержания основных летучих компонентов (в пересчёте на б.с.) в образцах различных видов плодовых водок до хранения и после трёх лет хранения (таблица 1). Установлено, что в процессе длительного хранения всех исследованных образцов плодовых водок происходит снижение суммарной концентрации основных летучих компонентов в среднем на 20–35 %.

Также установлено, что концентрация ацетальдегида в течение трёх лет хранения уменьшается на 50–60 %. Ранее польские учёные [9] отмечали при исследовании трансформаций, происходящих при кратковременном хранении сливовых дистиллятов с разным содержанием этилового спирта (от 40 до 70 % об.), снижение концентрации ацетальдегида, что, по данным авторов, может происходить за счёт взаимодействия ацетальдегида с этиловым спиртом или другими спиртами с образованием ацеталей. Кроме того, уменьшение концентрации ацетальдегида при хранении может быть обусловлено его окислением до уксусной кислоты.

Как известно, к сложным эфирам, участвующим в формировании ароматического профиля плодовых водок относят этилацетат, изоамилацетат, этилкапроат, этилкаприлат, этикапрат и другие. Концентрации сложных эфиров при хранении плодовых водок обычно увеличиваются [9] за счёт их образования в результате реакции этерификации из соответствующих кислот и спиртов. Известно, что скорость реакции этерификации зависит от строения карбоновых кислот и спиртов. Для одной и той же кислоты скорость этерификации с первичными спиртами в два

раза выше, чем со вторичными, и во много раз выше, чем с третичными, что зависит от пространственного расположения радикалов («пространственные затруднения»). Кроме того, скорость реакции падает при переходе от низших спиртов к высшим. Чем выше кислотные свойства кислоты и спирта, тем легче соединения вступают в реакцию этерификации. Этим можно объяснить преимущественное образование этилацетата в исследованных образцах по сравнению с высшими эфирами (таблица 1).

Важным показателем при оценке качества плодовых водок является содержание метанола в продукте. Метанол является высокотоксичным спиртом, его токсичность превышает токсичность этанола в $4,7 \times 10^3$ раз. Предельно допустимые концентрации метанола во фруктовых спиртных напитках в странах Европейского Союза варьируются от 10 до $13,5 \text{ г/дм}^3$ в пересчёте на б.с. и зависят от вида сырья. В Российской Федерации максимально допустимым является содержание метанола в плодовых водках $3,5 \text{ г/дм}^3$ безводного спирта. Авторы работы [8] при изучении динамики изменения содержания метанола в образцах сливовых дистиллятов установили, что концентрация данного летучего компонента практически не меняется в течение кратковременного хранения (8 недель) и не зависит от температуры хранения. Вместе с тем, полученные нами результаты показали, что при длительном хранении происходит снижение содержания метанола на 7–15 %. Среди ароматобразующих компонентов плодовых водок в количественном отношении преобладают высшие спирты. Установлено, что при хранении в течение трёх лет концентрация высших спиртов (1-пропанола, изобутанола и изоамилола) уменьшается в среднем на 20–30 %. Снижение содержания метанола и высших спиртов в исследованных образцах плодовых водок, скорее всего, является результатом реакций между спиртами и кислотами, а также между спиртами и альдегидами, приводящими к образованию сложных эфиров и ацеталей соответственно. Как было показано ранее, величина соотношения «1-пропанол/изобутанол+изоамилол» для абрикосовой водки находится в пределах 0,45–0,52, вишнёвой – 0,59–0,64, кизиловой – 0,02–0,04 и сливовой – 0,48–0,50 [10]. Данные, представленные в таблице 1, показали, что, несмотря на снижение концентраций данных спиртов во всех видах плодовых водок при хранении, указанные соотношения остаются практически неизменными, что позволяет дифференцировать используемое фруктовое сырьё (абрикос/слива; вишня; кизил).

Таблица 1 – Влияние хранения на изменение содержания основных летучих компонентов в разных видах плодовых водок

Table 1 – The effect of storage on the change in the content of the main volatile components in different types of fruit brandy

Показатель	Содержание летучих компонентов, мг/дм ³ б.с.							
	Абрикосовая		Вишнёвая		Кизиловая		Сливовая	
	исх.	хран.	исх.	хран.	исх.	хран.	исх.	хран.
Ацетальдегид	70	27	138	74	105	52	216	91
Этилацетат	84	108	155	172	59	71	244	323
Метанол	3892	3637	2722	2495	3876	3310	4040	3522
1-пропанол	1130	949	2050	1431	281	199	2315	1681
Изобутанол	868	642	1453	952	1852	1432	1432	1051
Изоамилол	1622	1225	2022	1332	4107	3113	3074	2303
Сумма летучих компонентов* (без метанола)	3826	3007	5921	4088	6467	5006	7340	5504
1-пропанол/изобутанол+изоамилол	0,48	0,51	0,59	0,63	0,05	0,04	0,51	0,50

*В таблице указаны не все идентифицированные летучие компоненты

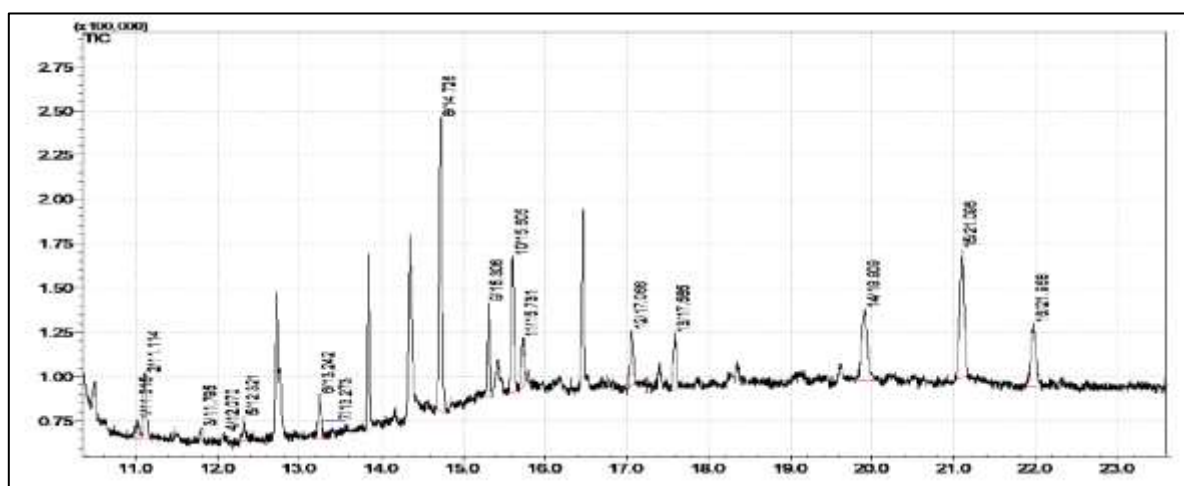


Рисунок 1 – Хроматограмма исходного образца плодовой водки: 1 – пентанол-1; 2 – изобутиленовый спирт; 3 – 1,1,3-триэтоксипропан; 4 – 1,3-бутандиол; 5 – 1-буксокси-2-метилбутен-2; 6 – 3-этоксипропанол-1; 7 – 3-гексен-1-ол; 8 – фурфурол; 9 – линалоол; 10 – бензальдегид; 11 – 2-метилпропановая кислота; 12 – 2-метилбутановая кислота; 13 – α -терпинеол; 14 – гептановая кислота

Figure 1 – Chromatogram of the initial sample of fruit vodka: 1 - pentanol-1; 2 - isobutenyl alcohol; 3 - 1,1,3-triethoxypropane; 4 - 1,3-butanediol; 5 - 1-butoxy-2-methylbutene-2; 6 - 3-ethoxypropanol-1; 7 - 3-hexene-1-ol; 8 - furfural; 9 - linalool; 10 - benzaldehyde; 11 - 2-methylpropanoic acid; 12 - 2-methylbutanoic acid; 13 - α -terpineol; 14 - heptanoic acid

В исследованных образцах, независимо от срока хранения, были выявлены ранее нами неидентифицированные, ароматобразующие компоненты с вероятностью совпадения библиотечного и полученного масс-спектров для следующих веществ: пентанол-1 (85–91 %), изобутиленовый спирт (91–94 %), 3-гексен-1-ол (78–94%), 2-метилпропановая кислота (77–93 %). В свежеприготовленной плодовой водке, в том числе, в отличие от выдержанной в течение 6 месяцев, идентифицированы такие летучие компоненты, как бензальдегид, бензиловый спирт и линалоол. Снижение концентраций первых двух компо-

нентов ниже их пределов обнаружения может быть объяснено последовательным превращением бензилового спирта сначала в бензальдегид с последующим окислением до бензойной кислоты, которая затем, вступая в реакцию этерификации с этиловым спиртом, образует этиловый эфир бензойной кислоты. Последний регистрируется на хроматограмме образца плодовой водки после хранения (рис. 2). Снижение концентрации линалоола, относящегося к терпеноидам, может быть связано с его превращением в гераниол с дальнейшим протеканием окислительных реакций.

Следует обратить внимание на образование октаналь диэтилацеталь в плодовой водке, хранившейся в течение 6-ти месяцев. Согласно литературным данным [8], различные диацетали, прежде всего ацетальдегида

диацеталь, накапливаются именно в процессе хранения плодовых водок. Они образуются в результате взаимодействия различных альдегидов с этиловым спиртом.

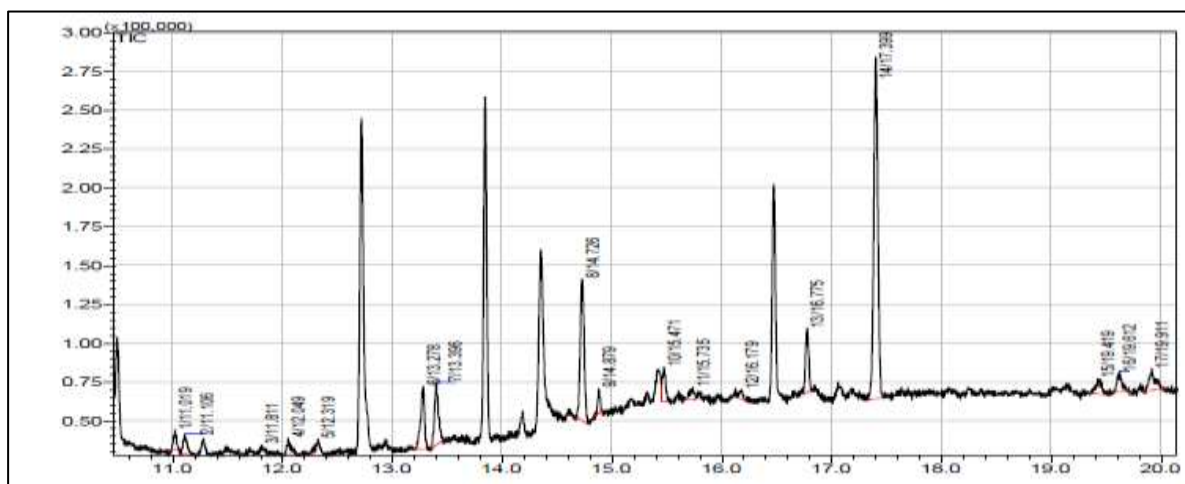


Рисунок 2 – Хроматограмма образца плодовой водки после хранения в течение 6 месяцев: 1 – пентанол-1; 2 – изобутиленовый спирт; 3 – 1,1,3-триэтоксипропан; 4 – пентилметоксиацетат; 5 – 3-метилпентанол; 6 – 3-гексен-1-ол; 7 – нонаналь; 8 – фурфурол; 9 – 1,1-диэтоксоктан (октаналь диэтилацеталь); 10 – октанол-1; 11 – 2-метилпропановая кислота; 12 – 5-метилфурфурол; 13 – нонанол-1; 14 – этиловый эфир бензойной кислоты; 15 – метиловый эфир салициловой кислоты; 16 – этиловый эфир тридекановой кислоты; 17 – n-гептановая кислота

Figure 2 – Chromatogram of a sample of fruit vodka after storage for 6 months: 1 - pentanol-1; 2 - isobutenyl alcohol; 3 - 1,1,3-triethoxypropane; 4 - pentylmethoxyacetate; 5 - 3-methylpentanol; 6 - 3-hexene-1-ol; 7 - nonanal; 8 - furfural; 9 - 1,1-diethoxyoctan (octanal diethylacetal); 10 - octanol-1; 11 - 2-methylpropanoic acid; 12 - 5-methylfurfural; 13 - nonanol-1; 14 - ethyl ether of benzoic acid; 15 - methyl ether of salicylic acid; 16 - ethyl ether of tridecanoic acid; 17 - n-heptanoic acid

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что в процессе длительного хранения основные летучие компоненты плодовых водок подвергаются трансформации, при которой происходит снижение концентраций ацетальдегида, метанола и основных высших спиртов, а содержание этилацетата возрастает. Предложены объяснения выявленных процессов.

Установлено, что величина показателя «1-пропанол/изобутанол+изоамилол» не меняется в процессе хранения, что позволяет его использовать в качестве одного из идентификационных критериев.

Установлено, что бензальдегид, бензиловый спирт и линалоол идентифицируются только в свежеприготовленных плодовых водках, в то время как октаналь диэтилацеталь, напротив, обнаруживается в образцах после их хранения.

Полученные результаты дают основания для продолжения исследований в данном направлении с целью получения более детальных данных, в том числе изучить динамику трансформации как основных летучих компонентов, так и дополнительных ароматизующих веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганесянц А.Л., Хуршудян С.А. Актуальные аспекты обеспечения качества алкогольной продукции России // Пиво и напитки. 2015. № 5. С. 12–14.
2. Оганесянц Л.А., Панасюк А.Л., Рейтлат Б.Б. Теория и практика плодового виноделия. М. : Промышленно-консалтинговая группа «Развитие», 2011. 396 с.
3. Качественный и количественный состав летучих компонентов плодовых водок / Л.А. Оганесянц [и др.] // Виноделие и виноградарство. 2013. № 6. С. 22–24.
4. Научно-практические аспекты биохимического состава сырья для производства фруктовых

дистиллятов / Л.Н. Крикунова [и др.] // Пищевые системы. 2022. Т. 5. № 2. С. 121–131. doi: 10.21323/2618-9771-2022-5-2-121-131.

5. Научные аспекты разработки идентификационных критериев дистиллятов из фруктового сырья / Дубинина Е.В. [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 480–491. Doi: 10.21603/2074-9414-2021-3-480-491.

6. Magdas D.A., David M., Berghian-Grosan C. Fruit spirits fingerprint pointed out through artificial intelligence and FT-Raman spectroscopy. *Food Control*, 2022, vol. 133, Part B. 108630. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108630>.

7. Popović B.T., Mitrović O.V., Leposavić A.P., Paunović S.A., Jevremović D.R., Nikićević N.J., Tešević V.V. Chemical and sensory characterization of plum spirits obtained from cultivar Čačanska Rodna and its parent cultivars. *J. Serb. Chem. Soc.*, 2019, vol. 84, no. 12, pp. 1381-1390. DOI: 10.2298/JSC190307061P.

8. The identification of volatile aroma compounds from local fruit based spirits using a headspace solid-phase microextraction technique coupled with the gas chromatography-mass spectrometry / D. Cvetković [et al.] // *Advanced Technologies*. 2020. V. 9. № 2. P. 19–28. doi: 10.5937/savteh2002019C.

9. Róžański M., Pielech-Przybylska K., Balcerek M. Influence of alcohol content and storage conditions on the physicochemical stability of spirit drinks // *Foods*. 2020. V. 9. № 9. 1264. doi: 10.3390/foods9091264.

10. Дополнительные идентификационные показатели спиртных напитков из косточкового фруктового сырья / Дубинина Е.В. [и др.] // Пищевая промышленность. 2022. № 9. С. 40–43. doi: 10.52653/PPI.2022.9.9.008.

Информация об авторах

Л. Н. Крикунова – д. т н., профессор, ведущий научный сотрудник.

Е. В. Дубинина – к. т. н., ведущий научный сотрудник.

Е. В. Ульянова – к. х. н., младший научный сотрудник.

О. Н. Ободеева – младший научный сотрудник.

REFERENCES

1. Oganesyanc, A.L. & Hurshudyan, S.A. (2015). Actual aspects of the alcohol products quality in Russia. *Beer and beverages*, (5), 12-14. (In Russ.).

2. Oganesyanc, L.A., Panasyuk, A.L. & Rejtlat, B.B. (2011). Theory and practice of fruit

winemaking. Moscow: Promyshlennno-konsaltingovaya gruppa «Razvitie». (In Russ.).

3. Oganesyanc, L.A., Peschanskaya, V.A., Osipova, V.P., Dubinina, E.V. & Alieva, G.A. (2013). Qualitative and quantitative composition of the volatile components of fruit vodkas. *Wine-making and viticulture*, (6), 22-24. (In Russ.).

4. Krikunova, L.N., Dubinina, E.V., Uljanova, E.V., Moiseeva, A.A. & Tomgorova, S.M. (2022). Scientific and practical aspects of assessing the biochemical composition of raw materials for the production of fruit distillates. *Food systems*, 5(2), 121-131. (In Russ.). DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-2-121-131

5. Dubinina, E.V., Krikunova, L.N., Peschanskaya, V.A. & Trishkaneva, M.V. (2021). Scientific Aspects of Identification Criteria for Fruit Distillates. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(3), 480-491. (In Russ.). DOI:10.21603/2074-9414-2021-3-480-491.

6. Magdas, D.A., David, M. & Berghian-Grosan, C. (2022). Fruit spirits fingerprint pointed out through artificial intelligence and FT-Raman spectroscopy. *Food Control*, 133 (B), 108630. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108630.

7. Popović, B.T., Mitrović, O.V., Leposavić, A.P., Paunović, S.A., Jevremović, D.R., Nikićević, N.J. & Tešević, V.V. (2019). Chemical and sensory characterization of plum spirits obtained from cultivar Čačanska Rodna and its parent cultivars. *J. Serb. Chem. Soc.*, 84(12), 1381-1390. DOI: 10.2298/JSC190307061P.

8. Cvetković, D., Stojilković, P., Zvezdanović, J., Stanojević, J., Stanojević, L. & Karabegović, I. (2020). The identification of volatile aroma compounds from local fruit based spirits using a headspace solid-phase microextraction technique coupled with the gas chromatography-mass spectrometry. *Advanced Technologies*, 9(2), 19-28. doi: 10.5937/savteh2002019C.

9. Róžański, M., Pielech-Przybylska, K. & Balcerek, M. (2020). Influence of alcohol content and storage conditions on the physicochemical stability of spirit drinks. *Foods*, 9(9), 1264. doi: 10.3390/foods9091264.

10. Dubinina, E.V., Krikunova, L.N., Trofimchenko, V.A. & Obodeeva, O.N. (2022). Additional identification indicators of alcoholic beverages from stone fruit raw materials. *Food processing Industry*, (9), 40-43. (In Russ.). doi: 10.52653/PPI.2022.9.9.008.

Information about the authors

L.N. Krikunova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher.

E.V. Dubinina - Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher.

E.V. Uljanova - Candidate of Chemical sciences, Junior Researcher.

O. N. Obodeeva - Junior Researcher.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.007



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЖИМОК БРУСНИКИ В РЕЦЕПТУРАХ РУБЛЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МЯСА ПТИЦЫ

Надежда Александровна Величко¹, Екатерина Валерьевна Мельникова²,
Екатерина Николаевна Аёшина³

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

³ Сибирский государственный университет науки технологий имени академика И.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

¹ vena@kgau.ru

² mev131981@mail.ru

³ sibsau.ru@mail.ru

Аннотация. В статье приведена рецептура мясных рубленых полуфабрикатов (котлет) с добавлением ягодных выжимок брусники. На основании химического состава ягодных выжимок брусники обосновано их применение в рецептуре мясных рубленых полуфабрикатов (котлет) из мяса птицы (курицы). Подобрана дозировка ягодных выжимок брусники, при которой достигаются наилучшие органолептические характеристики продукта. Проведена дегустационная оценка разработанных опытных мясных полуфабрикатов (котлет) с внесением различного количества ягодных выжимок брусники.

Наивысшую оценку получил опытный образец с добавлением 15 % ягодных выжимок брусники взамен мясного сырья. Опытный образец с добавлением 20 % ягодных выжимок брусники вид на разрезе приобрел более темный цвет, консистенция изделий стала более жесткой. В связи с этим нецелесообразно повышать дозировку выжимок брусники в мясные рубленые полуфабрикаты.

Предложена принципиальная технологическая схема получения мясных рубленых полуфабрикатов (котлет) с добавлением ягодных выжимок брусники взамен мясного сырья. Ягодные выжимки брусники предлагается вводить на стадии формирования фаршевой системы.

Ключевые слова: выжимки ягод брусники, рецептура, технология, показатели качества.

Для цитирования: Использование выжимок брусники в рецептурах рубленых полуфабрикатов из мяса курицы / Н. А. Величко [и др.]. // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 53–57. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.007. EDN: <https://elibrary.ru/ZRRHEY>.

Original article

USE OF LINGONBERRY POMACE IN RECIPES CHOPPED SEMI-FINISHED POULTRY MEATMEAT

Nadezhda A. Velichko¹, Ekaterina V. Melnikova²,
Ekaterina N. Aeshina³

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

³ Siberian State University of Science and Technology named after Academician I.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

¹ vena@kgau.ru

² mev131981@mail.ru

³ sibsau.ru@mail.ru

© Величко Н. А., Мельникова Е. В., Аёшина Е. Н., 2023

Abstract. The article presents the recipe of minced meat semi-finished products (cutlets) with the addition of berry pomace lingonberries. Based on the chemical composition of cranberry berry pomace, their use in the formulation of chopped meat semi-finished products (cutlets) from poultry meat (chicken) is justified. The dosage of cranberry berry pomace has been selected, at which the best organoleptic characteristics of the product are achieved. A tasting evaluation of the developed experimental meat semi-finished products (cutlets) with the introduction of various amounts of berry pomace lingonberries was carried out. The highest rating was given to a prototype with the addition of 15 % of cranberry pomace instead of meat raw materials. The prototype with the addition of 20 % of cranberry pomace has acquired a darker color on the section, the consistency of the products has become more rigid. In this regard, it is impractical to increase the dosage of lingonberry pomace in minced meat semi-finished products. A basic technological scheme for obtaining chopped meat semi-finished products (cutlets) by adding berry pomace lingonberries instead of meat raw materials. Berry squeezes of lingonberries are proposed to be introduced at the stage of formation of the stuffing system.

Keywords: cranberry squeezes, recipe, technology, quality indicators.

For citation: Velichko, N.A., Melnikova, E.V. & Aeshina, E.N. (2023). Use of lingonberry pomace in recipes of chopped semi-finished chicken meat. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 53-57. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.007. <https://elibrary.ru/ZRRHEY>.

ВВЕДЕНИЕ

Большой объем быстрозамороженных полуфабрикатов как в нашей стране, так и за рубежом, занимает производство мясных рубленых полуфабрикатов. В настоящее время рынок мясных полуфабрикатов активно развивается и является наиболее перспективным. Мясные полуфабрикаты являются востребованными продуктами у населения г. Красноярск. В производстве данной продукции используется в основном мясо птицы. В торговых сетях города Красноярск линейка таких продуктов представлена достаточно широко.

Известно, что мясо и мясопродукты содержат незначительное количество эссенциальных микронутриентов, способных удовлетворить физиологическую потребность организма. Уже доказана актуальность комплексного использования продукции животного и растительного происхождения, дополняя недостающие компоненты основного исходного сырья.

В последние годы все большую популярность приобретают мясные рубленые полуфабрикаты с добавлением различного растительного сырья, например, ягодные выжимки, являющиеся отходами сокового или ликеро-водочного производства [1–5]. Таким образом, обогащение мясного сырья растительными добавками является актуальным направлением.

Целью исследования было разработать рецептуру мясных рубленых полуфабрикатов из мяса птицы (курицы) с добавлением ягодных выжимок брусники.

Задачи исследования:

- подобрать дозировку ягодных выжимок брусники в рецептуру мясных рубленых полуфабрикатов, обеспечивающую наилучшие органолептические показатели продукта;

- определить показатели качества разработанных изделий;

- предложить технологию рубленых полуфабрикатов из мяса птицы с добавлением ягодных выжимок брусники.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были:

- выжимки ягод брусники;
- рубленые полуфабрикаты из мяса птицы с добавлением выжимок из ягод брусники.

Вспомогательные ингредиенты:

- лук репчатый ГОСТ Р 52622-2006;
- вода питьевая ГОСТ Р 51232-98;
- хлеб из пшеничной муки ГОСТ 27842-88;
- соль поваренная ГОСТ Р 51574-2018;
- черный молотый перец ГОСТ 29050-91;
- сухари панировочные ГОСТ 28402-89.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ягодные выжимки брусники в качестве ингредиента мясных рубленых полуфабрикатов (котлет) были использованы в исследовании на основании уникального химического состава этой ягоды [6–7]. Они содержат 34,1 % сахаров, 15,6 белка, 12,3 % жира, 6,4 % пектиновых веществ, 1,3 % минеральных веществ, а также ценные биологически активные вещества [8, 9]. В результате предварительно проведенных экспериментальных исследований было выбрано количество вводимых ягодных выжимок брусники 10, 15, 20 % взамен мясного сырья. Ягодные выжимки использовали после отжима сока из ягоды.

Рецептуры мясных рубленых полуфабрикатов с добавлением брусничных выжимок представлены в таблице 1.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЖИМОК БРУСНИКИ В РЕЦЕПТУРАХ РУБЛЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МЯСА ПТИЦЫ

Таблица 1 – Рецепт мясных рубленых полуфабрикатов с добавлением ягодных выжимок брусники

Table 1 – Recipe of minced meat semi-finished products with the addition of berry pomace lingonberries

Наименование сырья, кг на 100 кг	Контроль	Количество выжимок, %		
		10	15	20
Мясной куриный фарш	55	49,5	46,75	44
Жир-сырец	8,5	8,5	8,5	8,5
Хлеб из пшеничной муки	10	10	10	10
Лук репчатый свежий	7	7	7	7
Яйца куриные	3	3	3	3
Выжимки ягод брусники	–	5,5,4	8,25	11,0
Сухари панировочные	3	3	3	3
Вода питьевая	12	12	12	12
Соль	1,45	1,45	1,45	1,45
Перец черный молотый	0,05	0,05	0,05	0,05

Таблица 2 – Органолептическая оценка рубленых полуфабрикатов с добавлением ягодных выжимок брусники

Table 2 – Organoleptic evaluation of chopped semi-finished products with the addition of cranberry pomace

Наименование показателя	Органолептическая оценка
Внешний вид	Поверхность чистая, края ровные
Форма	Овально-приплюснутая
Консистенция	Нежная, мягкая
Запах и вкус	Без посторонних привкусов и запахов
Вид на разрезе	Бело-серый с вкраплением ягодных выжимок

Органолептическая оценка рубленых полуфабрикатов с добавлением ягодных выжимок брусники представлена в таблице 2.

Внешний вид и вкусовые характеристики разработанного мясного рубленого полуфабриката с растительным компонентом, его цвет и запах, консистенция соответствуют показателям ГОСТ 9959-91. Однако опытный образец с

добавлением 20 % ягодных выжимок брусники вид на разрезе приобрел более темный цвет, консистенция изделий стала более жесткой. В связи с этим нецелесообразно повышать дозировку вносимых выжимок брусники в мясные рубленые полуфабрикаты.

Дегустационный лист по оценке продукта по 5-балльной шкале представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Дегустационный лист котлет из мяса птицы (курицы) с добавлением ягодных выжимок брусники

Table 3 – Tasting list of cutlets from poultry meat (chicken) with the addition of berry pomace lingonberries

Показатели	Эксперт 1		Эксперт 2			Эксперт 3			Эксперт 4			Эксперт 5			
	Опытные образцы														
	10 %	15 %	20 %	10 %	15 %	20 %	10 %	15 %	20 %	10 %	15 %	20 %	10 %	15 %	20 %
Внешний вид	5	5	4	4	5	4	4	4	5	5	5	5	4	4	3
Цвет	5	5	4	5	5	3	5	5	4	5	5	4	3	4	3
Запах	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	3
Вид на разрезе	4	4	4	4	5	4	4	5	3	4	5	3	5	5	4
Вкус	4	5	4	4	5	3	3	4	3	4	4	3	5	5	4
Средний балл	4,4	4,6	3,8	4,2	4,8	3,6	4	4,6	3,8	4,4	4,6	3,8	4,2	4,4	3,4

Наименьшую оценку экспертов получил опытный образец с добавлением 20 % ягодных выжимок брусники (3,4). Наибольший балл получил опытный образец с добавлением 15 % ягодных выжимок брусники – (4,8).

Принципиальная технологическая схема «Рубленые полуфабрикаты с добавлением выжимок брусники» приведена на рисунке 1.

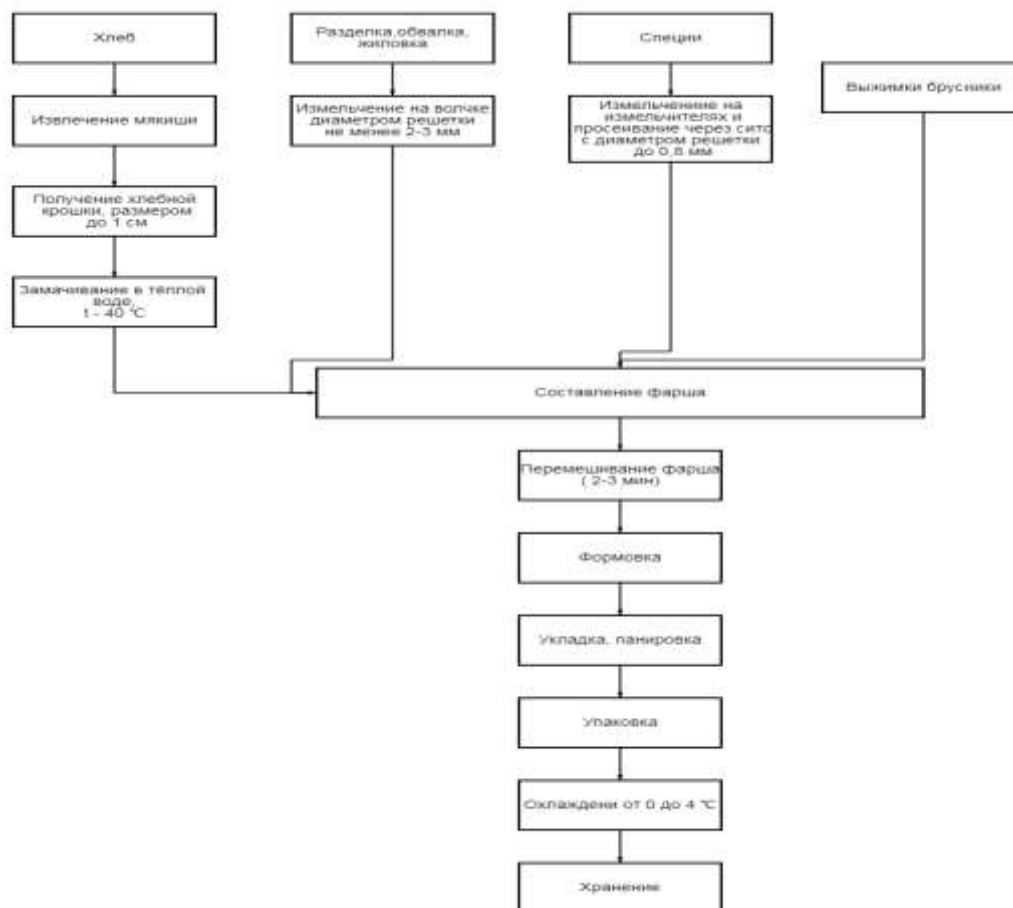


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема получения рубленых полуфабрикатов с добавлением выжимок брусники»

Figure 1 – Basic technological scheme for obtaining chopped semi-finished products with the addition of lingonberry pomace"

Технология производства мясных рубленых полуфабрикатов из мяса курицы с добавлением выжимок ягод брусники аналогична традиционной схеме и включает обвалку жиловку, измельчение на волчке с размером отверстий решетки 2–3 мм. После чего следует стадия составления фарша с добавлением всех ингредиентов. Формирование фарша проводят в фаршемешалке, перемешивая в течение 2–4 мин.

Выжимки брусники вводятся в фаршевую систему на стадии составления фарша. Далее котлеты поступают на формование и отделку поверхности, где покрываются слоем панировочных сухарей. Готовые изделия поступают на упаковку в тару и отправляются на хранение в холодильную камеру.

Замороженную продукцию (котлеты) хра-

нут при температуре не выше минус 10 °С продолжительностью от 10 до 20 сут.

ВЫВОДЫ

Разработана рецептура мясных рубленых полуфабрикатов (котлет) с добавлением ягодных выжимок брусники. Подобрана дозировка ягодных выжимок брусники, обеспечивающая наилучшие органолептические показатели продукта. Мясные рубленые полуфабрикаты с добавлением выжимок ягод брусники в количестве 15 % взамен мясного сырья, согласно дегустационной оценке экспертов, получили более высокие баллы (4,8) по сравнению с другими опытными образцами.

Предложена принципиальная технологическая схема мясных рубленых полуфабрикатов (котлет) с добавлением ягодных выжимок

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЖИМОК БРУСНИКИ В РЕЦЕПТУРАХ РУБЛЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МЯСА ПТИЦЫ

брусники, включающая добавление ягодных выжимок брусники на стадии формирования фаршевой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Величко Н.А., Брошко Д.В., Рыгалова Е.А. Возможность использования выжимок *Rubus Saxatilis* L. в рецептурах мясных рубленых полуфабрикатов // Вестник КрасГАУ, № 2, 2020, с. 177–182.
2. Коновалов К.Л. Растительные ингредиенты в производстве мясных продуктов // Пищевая промышленность. 2006. № 4. С. 68–69.
3. Шароглазова Л.П., Рыгалова Е.А., Величко Н.А. Возможность создания конкурентоспособных экспортных продуктов АПК Красноярского края на основе ягод морошки приземистой // Материалы между. науч.-практ. конференции «Приоритетные направления развития регионального экспорта продукции АПК», г. Красноярск, ноябрь, 2019, с. 163–168.
4. Производство мясорастительных полуфабрикатов из фарша птицы / С.Д. Божко, Л.В. Левочкина, Т.А. Ершова // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 3. С. 19–20.
5. Лебедева, Л.И. Применение растительных ингредиентов при производстве мясных продуктов // Все о мясе. 2004. № 2. С. 10–15.
6. Лютикова М.Н. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 49–53.
7. Лютикова М.Н., Туров Ю.П. Исследование компонентного состава ягод местной дикорастущей брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 145–149.
8. Мельникова Е.В., Величко Н.А., Беляков А.А. Паштет на основе мяса оленя с использованием ягодного сырья / В сборнике : Научное обеспечение животноводства Сибири. 2021. С. 555–559.
9. Расщепкина Е.А. Разработка технологии гранулированного брусничного концентрата напитка на основе молочной сыворотки / Автореф. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Кемерово. 2009. 19 с.

Информация об авторах

Н. А. Величко – д.т.н., профессор кафедры ТК и ПБ Института пищевых производств.

Е. В. Мельникова – к.т.н., доцент кафедры ТХК и МП, кандидат технических наук, Института пищевых производств.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

Е. Н. Аёшина – к.т.н., доцент кафедры инженерной графики.

REFERENCES

1. Velichko, N.A., Broshko, D.V. & Rygalova, E.A. (2020). The possibility of using pomace *Rubus Saxatilis* L. In the recipes of minced meat semi-finished products. *Bulletin of KrasGAU*, (2), 177-182. (In Russ.).
2. Konovalov, K.L. (2006). Vegetable ingredients in the production of meat products. *Food industry*. (4). 68-69. (In Russ.).
3. Sharoglazova, L.P., Rygalova, E.A. & Velichko, N.A. (2019). The possibility of creating competitive export products of the agro-industrial complex of the Krasnoyarsk Territory on the basis of cloudberries squat. *Materials of the international scientific and practical conference "Priority directions for the development of regional exports of agricultural products"*, Krasnoyarsk. November, 163-168. (In Russ.).
4. Bozhko, S.D., Levochkina, L.V. & Ershova, T.A. (2011). Production of meat and vegetable semi-finished products from minced poultry. *Storage and processing of agricultural raw materials*. (3). 19-20. (In Russ.).
5. Lebedeva, L.I. (2004). The use of vegetable ingredients in the production of meat products. *All about meat*. (2). 10-15. (In Russ.).
6. Lyutikova, M.N. (2015). Chemical composition and practical application of cranberries and cranberries. *Chemistry of vegetable raw materials*. (2). 49-53. (In Russ.).
7. Lyutikova, M.N. & Turov, Yu.P. (2011). Investigation of the component composition of berries of local wild cranberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.). *Chemistry of vegetable raw materials*. (1). 145-149. (In Russ.).
8. Mel'nikova, Ye.V., Velichko, N.A. & Belyakov, A.A. (2021). Pashtet na osnove myasa olenya s ispol'zovaniyem yagodnogo syr'ya. V sbornike : *Nauchnoye obespecheniye zhivotnovodstva Sibiri*. 555-559. (In Russ.).
9. Splavkina, E.A. (2009). Development of technology of granulated lingonberry concentrate of a drink based on whey. *Autoref. on the job.uch.art. Candidate of Technical Sciences*. Kemerovo. (In Russ.).

Information about the authors

N.A. Velichko - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of TC and PB of the Institute of Food Production.

E.V. Melnikova - Ph.D., Associate Professor of the Faculty of TC and MP, Candidate of Technical Sciences, Institute of Food Production.

E.N. Aeshina - Ph.D., Associate Professor of the Department of Engineering Graphics.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.8.038

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.008

 EDN: ETQXVC

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОЭМУЛЬСИЙ КАК БИОАКТИВНОГО КОМПОНЕНТА ПИЩЕВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Светлана Павловна Меренкова ¹, Оксана Владимировна Зинина ²

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

¹ e-mail: merenkovasp@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8795-1065>

² e-mail: zininaov@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3729-1692>

Аннотация. Преимущества использования белковых гидролизатов в составе упаковочных материалов – улучшение барьерных и механических свойств. Для формирования антиоксидантных и антимикробных свойств предложено добавлять в композиционный состав биопленок растительное масло в форме микроэмульсии. Целью исследований являлось изучение свойств и структурных характеристик эмульсий на основе конопляного масла и белкового гидролизата. Были получены 3 образца эмульсий, содержащие в качестве функционального компонента гидролизат белка, полученный при микробной ферментации субпродуктов. Для стабилизации образцов эмульсий применяли поверхностно-активные вещества с разной эффективностью: микроцеллюлозу и Tween 80. Результаты микроскопии образцов показывают, что микроэмульсии, стабилизированные Tween 80 и микроцеллюлозой, содержат сферические частицы, равномерно распределенные по размерам, отмечаются более мелкие размеры и равномерное распределение капель эмульсии по форме и размерам. Установлено, что стабилизированные эмульсии характеризуются меньшим диаметром частиц и их равномерным распределением в микродиапазоне. Наименьший гидродинамический диаметр частиц (1,47 мкм) отмечен для эмульсии, стабилизированной Tween 80. Доказана стабильная антирадикальная активность DPPH и высокая концентрация флавоноидов в эмульсионной системе на протяжении 7 суток хранения. Максимальные значения антиоксидантной активности коррелировали с наиболее высокой концентрацией флавоноидов в эмульсии, стабилизированной микроцеллюлозой. При анализе динамической вязкости микроэмульсий установлена способность микроцеллюлозы формировать связанную матрицу и соответственно увеличивать вязкость до значений – 68–92 мПа*s. При применении Tween 80 в качестве стабилизатора установлены минимальные значения вязкости (1,36–2,1 мПа*s), что связано со способностью ПАВ формировать мелкодисперсную липидную фазу при гомогенизации эмульсии. Результаты анализа микроструктуры, дисперсного состава и антиоксидантной активности доказывают возможность применения данных микроэмульсий в составе композиции биоактивных пленочных покрытий.

Ключевые слова: стабильные микроэмульсии, биоактивные компоненты, антиоксидантные свойства, микроструктура, распределение частиц.

Для цитирования: Меренкова С. П., Зинина О. В. Потенциал использования микроэмульсий как биоактивного компонента пищевых пленочных материалов // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 58–64. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.008. EDN: <https://elibrary.ru/ETQXVC>.

Original article

POTENTIAL OF USING MICROEMULSIONS AS A BIOACTIVE COMPONENT OF FOOD FILM MATERIALS

Svetlana P. Merenkova ¹, Oksana V. Zinina ²

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

¹ e-mail: merenkovasp@susu.ru <https://orcid.org/0000-0002-8795-1065>

² e-mail: zininaov@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3729-1692>

© Меренкова С. П., Зинина О. В., 2023

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОЭМУЛЬСИЙ КАК БИОАКТИВНОГО КОМПОНЕНТА ПИЩЕВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Abstract. *The advantages of using protein hydrolysates in the composition of packaging materials are the improvement of barrier and mechanical properties. To form antioxidant and antimicrobial properties, it is proposed to add vegetable oil in the form of microemulsion to the composition of biofilms. The aim of the research was to study the properties and structural characteristics of emulsions based on hemp oil and protein hydrolysate. Three samples of emulsions containing protein hydrolysate obtained by microbial fermentation of by-products as a functional component were studied. To stabilize the emulsion samples, surfactants with different effectivities were used: microcellulose and Tween 80. The results of microscopy of samples show that microemulsions stabilized with Tween 80 and microcellulose contain spherical particles evenly distributed in size, smaller sizes and uniform distribution of emulsion droplets in shape and size are noted. It is established that stabilized emulsions are characterized by a smaller particle diameter and their uniform distribution in the micro-range. The smallest hydrodynamic diameter of the particles (1.47 microns) was noted for the emulsion stabilized by Tween 80. Stable antiradical activity of DPPH and a significant concentration of flavonoids in the emulsion system during 7 days of storage have been proven. The maximum values of antioxidant activity correlated with the highest concentration of flavonoids in the emulsion stabilized with microcellulose. When analyzing the dynamic viscosity of microemulsions, the ability of microcellulose to form a bound matrix and, accordingly, increase the viscosity to values – 68-92 MPa*s was established. When using Tween 80 as a stabilizer, minimum viscosity values (1.36-2.1 MPa*s) were established, which is associated with the ability of surfactants to form a finely dispersed lipid phase during emulsion homogenization. The results of the analysis of microstructure, dispersed composition and antioxidant activity prove the possibility of using these microemulsions in the composition of bioactive film coatings.*

Keywords: *stable microemulsions, bioactive components, antioxidant properties, microstructure, particle size distribution.*

For citation: Merenkova, S.P. & Zinina, O.V. (2023). Potential of using microemulsions as a bioactive component of food film materials. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 58-64. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.008. <https://elibrary.ru/ETQXVC>.

ВВЕДЕНИЕ

Все биоразлагаемые материалы, особенно белок и его производные, обладают пленкообразующими свойствами. Многочисленные гидроксильные группы соединены в белковой пленке, образуя водородные связи и придавая им прочность [1]. Преимущества использования белковых гидролизатов в составе упаковочных материалов – улучшение барьерных и механических свойств [2]. Среди множества биоразлагаемых биополимеров, используемых для формирования пленок, применение белков, и особенно изолята сывороточного протеина (WPI), известно давно [3]. Установлено, что они обладают приемлемыми функциональными и пленкообразующими свойствами, что приводит к образованию прозрачных, гибких, бесцветных и не имеющих запаха пленок. Другим интересным компонентом белковой природы, которому отдают предпочтения зарубежные ученые в связи с подтвержденными функциональными свойствами, являются белковые гидролизаты. При их получении в процессе ферментации сырья образуются биоактивные пептиды, обладающие такими свойствами, как антимикробная и антиоксидантная активность [4].

Для формирования барьерных, в том

числе антимикробных свойств, многие исследователи предлагают добавлять в композиционный состав биопленок растительное масло в форме микроэмульсии [5].

Конопляное масло обладает многочисленными физиологически ценными свойствами, является источником незаменимых жирных кислот – линолевой и альфа-линоленовой. Высокое содержание токоферолов и токотриенолов, фитостеролов, фосфолипидов и каротиноидов придает ему выраженные антиоксидантные свойства, которые важны при использовании его в составе пищевых систем, а также в составе биоактивных пленочных покрытий. В других исследованиях сообщается, что конопляное масло обладает антимикробными свойствами [6]. Для улучшения стабильности липидной фазы и повышения эффективности конопляного масла в состав биопленок рекомендуется вводить его в состав в виде эмульсии.

Включение растительного масла в форме микроэмульсии в биоактивные пленки на основе биополимеров, таких как альгинат, пектин, агар-агар, позволяет придать им уникальные свойства по повышению сохранности продуктов питания от микробиологической и окислительной порчи [7].

Однако не все полисахариды, используе-

мые в качестве основы биоактивных пленок, способны формировать однородную связанную структуру с добавлением эмульсий. При этом свойства самих эмульсий и их стабильность будут играть решающую роль в формировании барьерных свойств пленочных материалов. Поэтому возникает необходимость изучения аспектов структурообразования эмульсии с введением в масло растворенного белкового компонента.

Целью исследований является изучение свойств и структурных характеристик эмульсий на основе конопляного масла и белкового гидролизата.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приготовление и характеристика микроэмульсий

В качестве функционального компонента эмульсии применяли гидролизат белка, полученный при микробной ферментации желудков цыплят-бройлеров (м.д. сухих веществ – 96 %; м.д. белка – 52 %), который добавляли в количестве 5 % от массы микроэмульсии [8].

Микроэмульсия масло / вода была составлена на основе масла из семян конопли и дистиллированной воды, взятых в соотношении 80:20. Для стабилизации эмульсий применяли два вида поверхностно-активных веществ: неионогенный стабилизатор Tween-80 (HLB-15); микроцеллюлозу (МКЦ, размер частиц 200 мкм). Tween 80 характеризуется низкой молекулярной массой, высоким гидрофильным и липофильным балансом, стабилизирует капли эмульсии посредством стериновой стабилизации. Микрочастицы целлюлозы при набухании в воде формируют стабилизирующую матрицу, ингибирующую коалесценцию капель микроэмульсии.

Микроэмульсию при стабилизации МКЦ получали по следующей схеме: гидролизат белка диспергировали в воде при постоянном перемешивании в магнитной мешалке (400 об/мин); МКЦ предварительно гомогенизировали с водой для получения устойчивой суспензии при 4600 об/мин в течение 5 минут. Раствор гидролизата перемешивали с суспензией МКЦ. Микроэмульсию готовили путем интенсивной гомогенизации двух подготовленных фаз: воды с растворенным белковым гидролизатом и МКЦ и масла при 4600 об/мин в течение 10 минут с использованием лабораторного гомогенизатора STEGLER DG-360 (Китай).

Микроэмульсию при стабилизации Tween 80 получали по схеме: гидролизат белка также диспергировали в воде; Твин-80 диспергировали в масляной фазе 5 минут. Микроэмульсию готовили путем интенсивной гомогенизации двух подготовленных фаз: воды с рас-

творенным белковым гидролизатом и масла с Tween 80 при 4600 об/мин в течение 10 минут. Эксперименты проводили при комнатной температуре.

В качестве контрольного образца использована эмульсия, приготовленная на основе воды с растворенным белковым гидролизатом и конопляного масла, без добавления стабилизатора. Диспергирование и гомогенизацию осуществляли при режимах, описанных ранее.

Методы исследования

Структуру микроэмульсии анализировали с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Подготовка образца эмульсии для исследования включала термическую фиксацию жидкой эмульсии под давлением. Образцы покрывали слоем золота толщиной 2–5 нм путем распыления в аппарате для локализации сигнала на поверхности образца и повышения проводимости.

На анализаторе размера частиц Microtrac FLEX оценивали распределение частиц в эмульсиях по размерам с помощью метода DLS. Микроэмульсии разбавляли дистиллированной водой (1:100) для получения однородной суспензии частиц. Эта суспензия устанавливалась на внешний зонд Microtrac, где рассеянный свет, исходящий от образца, использовался для измерения распределения частиц по размерам.

Общую антиоксидантную активность определяли методом DPPH (%). Использовали раствор 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) (0,025 г DPPH в 100 мл этанола). 0,5 мл эмульсии смешивали с 3,6 мл раствора DPPH, инкубировали в темноте в течение 30 мин. Поглощение измеряли с использованием спектрофотометра при 515 нм [9].

Содержание флавоноидов определяли спектрофотометрически по образованию комплекса флавоноидов с алюминием. Поглощение измеряли при 510,0 нм. Кверцетин использовали в качестве стандарта для построения калибровочной кривой. Содержание флавоноидов рассчитывали и выражали в кверцетиновом эквиваленте, $\mu\text{g EQ/g}$ [10].

Динамическую вязкость образцов определяли с использованием вибрационного анализатора вязкости SV AND камертонного типа. Измерение проводилось в течение 60,0 с при $(22,0 \pm 2,0)^\circ\text{C}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сканирующую электронную микроскопию при различном увеличении использовали для визуализации размера и морфологии образцов эмульсий. Результаты СЭМ образцов эмульсий при увеличении $\times 500$ и $\times 1000$, представленные на рисунке 2, показывают, что микроэмульсии, стабилизированные

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2023

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОЭМУЛЬСИЙ КАК БИОАКТИВНОГО КОМПОНЕНТА ПИЩЕВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Tween 80 и микроцеллюлозой, содержат сферические частицы, равномерно распределенные по размерам. Отмечаются более мелкие размеры и равномерное распределение капель эмульсии по форме и размерам для стабилизированных микроэмульсий. Для эмульсий, содержащих микроцеллюлозу, установлена взаимосвязанная структура, от-

четливо видна матрица, в которую встроены капли масла (рис. 1).

Авторы для формирования наноэмульсии применяли Tween 80 в сочетании с ультразвуковым воздействием, при этом доказана эффективность стабилизатора для получения однородной нано-размерной эмульсии [11].

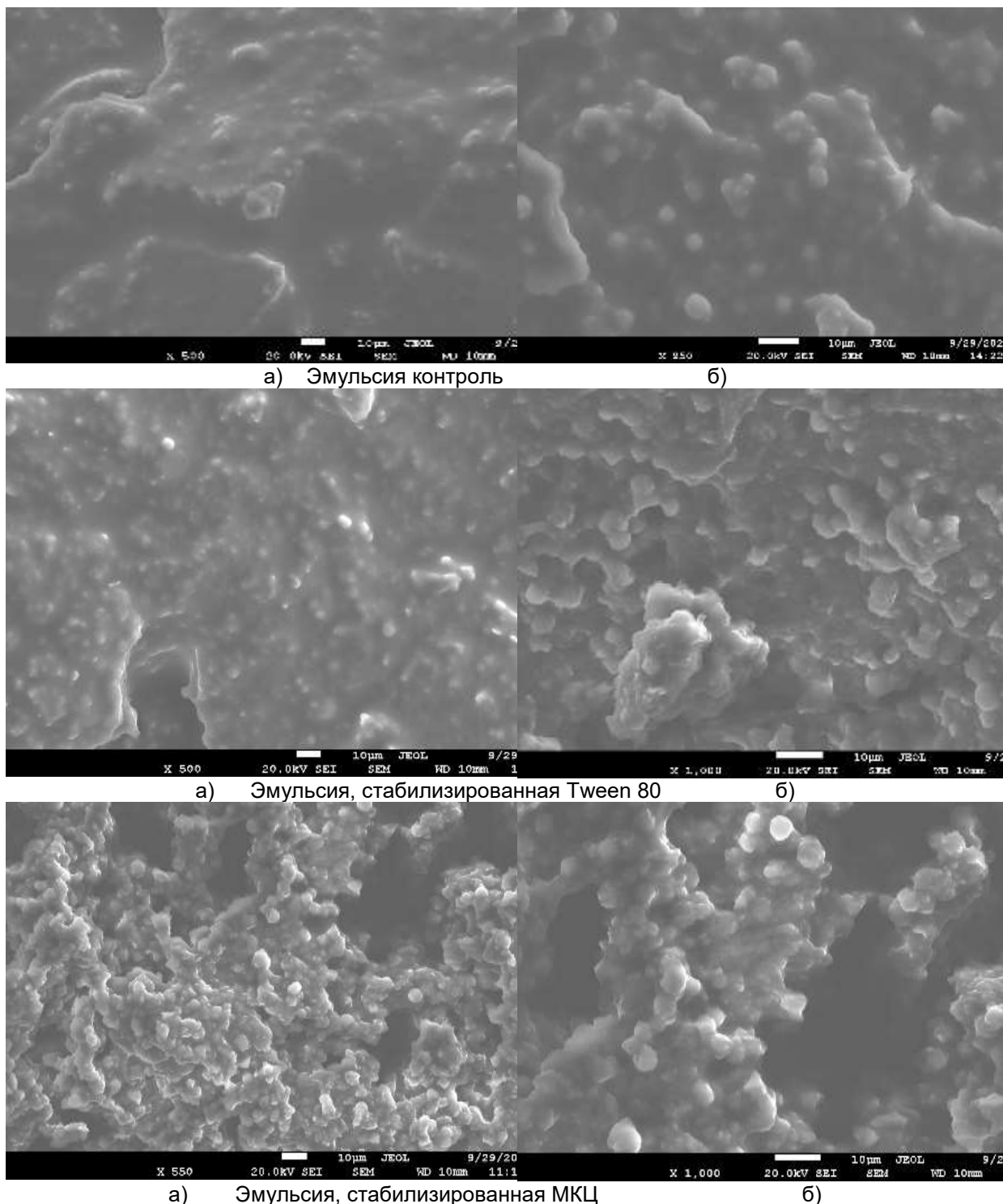


Рисунок 1 – Микроструктура эмульсий методом СЭМ: а) – увеличение $\times 500$; б) – увеличение $\times 1000$)

Figure 1 – Microstructure of emulsions by the SEM method: a) – magnification $\times 500$; b) – magnification $\times 1000$

Размер частиц микроэмульсии является определяющим фактором для обеспечения ее стабильности. Средний гидродинамический диаметр характеризует объемное распределение микрочастиц. Установлено, что эмульсии, стабилизированные поверхностно-активными веществами, характеризуются меньшим диаметром частиц и их равномерным распределением в микродиапазоне. Соответственно, наименьший средний гидродинамический диа-

метр (1,47 мкм) частиц отмечен для эмульсии, стабилизированной Tween 80, установлено распределение частиц в диапазоне 0,9–2,7 мкм (рис. 3). Эмульсия, стабилизированная МКЦ, характеризуется размером частиц 3,36 мкм, наибольшая масса частиц распределена в диапазоне 0,9–7,5 мкм.

Контрольная эмульсия отличается размером частиц 11,7 мкм, отмечено распределение частиц в диапазоне 0,9–37 мкм (рис. 2).

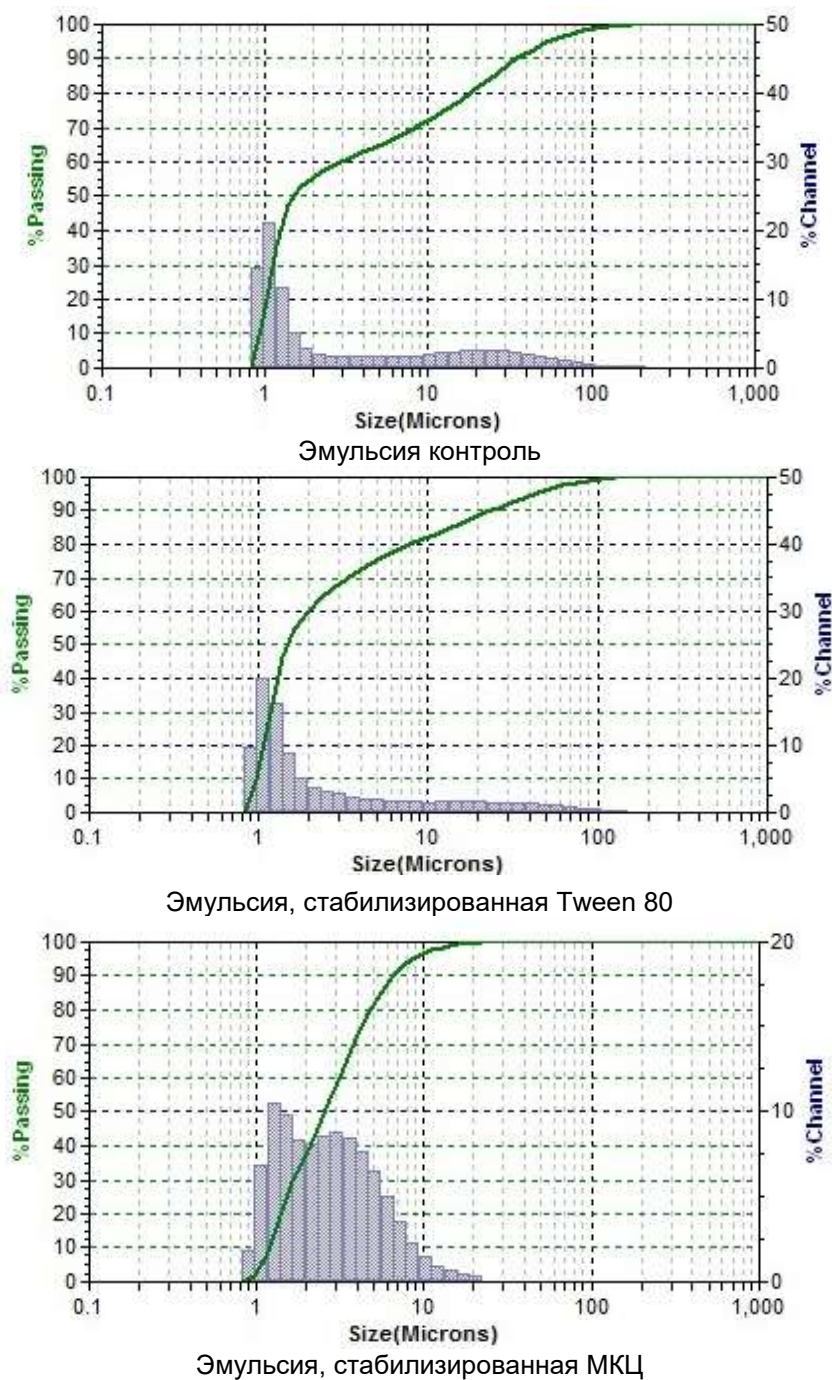


Рисунок 2 – Распределение размера частиц в микроэмульсиях

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОЭМУЛЬСИЙ КАК БИОАКТИВНОГО КОМПОНЕНТА ПИЩЕВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Figure 2 – Particle size distribution in microemulsions

Анализ антиоксидантных свойств микроэмульсий позволил установить стабильность антирадикальной активности DPPH и флавоноидов в эмульсионной системе на протяжении 7 суток хранения (таблица 1).

Высокую активность DPPH в эмульсиях обеспечивает как белковый гидролизат, содержащий биоактивные пептиды и флавоно-

иды, так и конопляное масло, богатое токоферолами, токотриенолами и фитостеролами [12]. Максимальные значения антирадикальной активности в течение 7 суток коррелировали с наиболее высокой концентрацией флавоноидов в эмульсии, стабилизированной микроцеллюлозой.

Таблица 1 – Динамика антиоксидантной активности микроэмульсий в период хранения

Table 1 – Dynamics of antioxidant activity of microemulsions during storage

Наименование образца эмульсии	Показатели			
	1-й день		7-й день	
	Содержание флавоноидов, $\mu\text{g EQ/g}$	DPPH активность, %	Содержание флавоноидов, $\mu\text{g EQ/g}$	DPPH активность, %
Эмульсия Контроль	9.20 ± 0.8^a	47.63 ± 0.6^a	6.50 ± 0.4^a	34.81 ± 0.55^a
Эмульсия, стабилизированная Tween 80	10.68 ± 1.2^b	60.54 ± 1.15^b	7.34 ± 0.6^b	51.98 ± 0.70^b
Эмульсия, стабилизированная МКЦ	18.11 ± 1.4^c	61.72 ± 1.3^b	13.50 ± 1.1^c	54.87 ± 0.72^b

Результаты представлены как среднее значение трех параллельных определений ($S \pm x$), для значений с различными буквами в столбцах установлены статистически достоверные различия при $p \leq 0,05$.

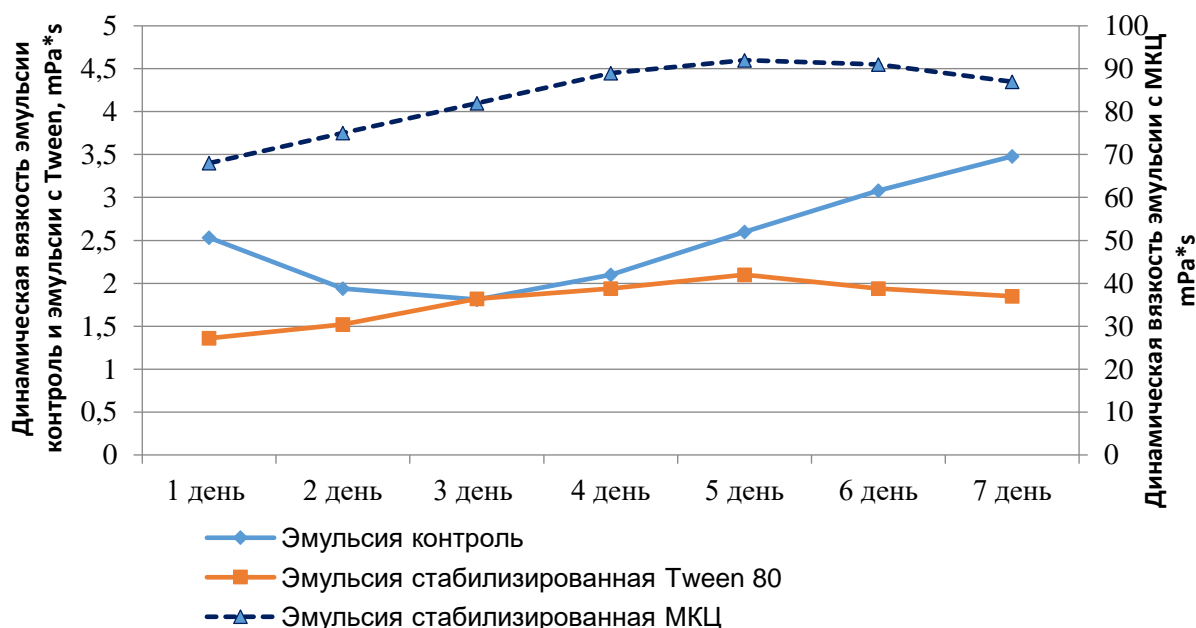


Рисунок 3 – Динамика вязкости микроэмульсий в период хранения

Figure 3 – Dynamics of viscosity of microemulsions during storage

При анализе динамической вязкости эмульсий установлена способность микроцеллюлозы формировать связанную матрицу и соответственно увеличивать вязкость микроэмульсии до значений 68–92 $\text{mPa}\cdot\text{s}$. Тогда как при применении Твин 80 в качестве стабилизатора установлены минимальные значения вязкости (1,36 – 2,1 $\text{mPa}\cdot\text{s}$), что связано

со способностью ПАВ формировать мелкодисперсную липидную фазу при гомогенизации эмульсии. Отмечена способность стабилизированных микроэмульсий сохранять постоянную вязкость на протяжении 7 суток хранения. Тогда как для микроэмульсии без применения стабилизатора доказана тенденция возрастания вязкости, что обусловлено

коалесценцией липидных капель (рис 3).

ВЫВОДЫ

При выполнении экспериментальных исследований проанализировано влияние поверхностно-активных веществ на стабильность и свойства эмульсий, содержащих биоактивный компонент – гидролизат белка. Так, микроэмульсии, стабилизированные Tween 80 и микроцеллюлозой, являются мелкодисперсной стабильной системой, с установленной антирадикальной активностью и значительным содержанием флавоноидов. Результаты анализа микроструктуры, дисперсного состава и антиоксидантной активности доказывают возможность применения данных микроэмульсий в составе композиции биоактивных пленочных покрытий.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-26-00153 <https://rscf.ru/project/23-26-00153/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Calva-Estrada S.J., Jiménez-Fernández M., Lugo-Cervantes, E. Protein-based films: Advances in the development of biomaterials applicable to food packaging // *Food Engineering Reviews*. 2019. P. 78–92. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09189-w>.
2. Ultrasound-assisted synthesis of nanoemulsion/protein blend for packaging application. / F. Benimana, I.Y. Potoroko, P. Pathak [et al.] // *Food Science & Nutrition*. 2022.10. P. 1537–1547. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2776>.
3. Ghadetaj A., Almasi H., Mehryar, L. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of *Grammosciadiumptrocarpum Bloss* // *Food Packaging and Shelf Life*. 2018. 16. P. 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.01>.
4. Physicochemical, Functional, and Technological Properties of Protein Hydrolysates Obtained by Microbial Fermentation of Broiler Chicken Gizzards / O. Zinina, S. Merenkova, M. Rebezov [et al.] // *Fermentation*. 2022. 8(7). <https://doi.org/10.3390/fermentation8070317>.
5. Advances in biopolymeric active films incorporated with emulsified lipophilic compounds: A review / I. Dammak, C.G. Luciano, L.J. Pérez-Córdoba // *RSC*

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

Advances. 2021. 11(45). P. 28148–28168.

6. Formulation, Characterization and Properties of Hemp Seed Oil and Its Emulsions / V. Mikulcová, V. Kašpárková, P. Humpolíček, L. Buňková // *Molecules*. 2017. 22–700. doi:10.3390/molecules22050700.

7. Gelatin-based films reinforced with montmorillonite and activated with nanoemulsion of ginger essential oil for food packaging applications / E.M.C. Alexandre, R.V. Lourenço, A.M.Q.B. Bittante // *Food Packaging and Shelf Life*. 2016. 10. P. 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.10.004>.

8. Зинина О.В., Ребезов М.Б., Меренкова С.П. Оптимизация процесса получения белковых обогащений из субпродуктов на основе микробной ферментации сырья. // *Все о мясе*. 2022. № 2. С. 14–17. DOI 10.21323/2071-2499-2022-2-14-17.

9. Sui X., Bary S., Zhou W. Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage // *Food Chemistry*. 2016. Vol. 192. P. 516–524.

10. Blueberry leaves from 73 different cultivars in southeastern China as nutraceutical supplements rich in antioxidants / Wu H., Chai Z., Hutabarat R.P. [et al.] // *Food Research International*. 2019. 122. P. 548–560.

11. Sonochemical approach for the synthesis of safflower oil based low fat emulsion: Effect of ultrasonic parameters / Potdar S., Bagale U., Potoroko I. [et al.] // *Materials Today: Proceedings*. 2022. 57. P. 1619–1625. doi:10.1016/j.matpr.2021.12.232.

12. Callaway, J.C. Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica* 2004, 140, 65–72. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4811-6>.

Информация об авторах

С. П. Меренкова – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии».

О. В. Зинина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии».

Information about the authors

S.P. Merenkova - candidate of Veterinary Sciences, associate Professor of Department of Food and Biotechnology.

O.V. Zinina - candidate of Agricultural Sciences, associate Professor of Department of Food and Biotechnology.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 664.681.002.612:[664.782/.784.3:664.236:665.931]

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.009



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛАТИНА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Олеся Сергеевна Якубова¹, Аделя Адлеровна Бекешева²,
Ольга Викторовна Чугунова³

^{1,2} Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

³ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

¹ o.s.yakubova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2489-8041>

² abaygalieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5429-6693>

³ chugun.ova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

Аннотация. *Расширение ассортимента и создание изделий с использованием современных ингредиентов – актуальное направление развития кондитерской промышленности. Цель работы – разработка рецептур и технологии кондитерских отделочных полуфабрикатов: зеркальной желейной глазури и сливочно-карамельного крема с использованием загустителей различной природы. В процессе исследования получены и проанализированы образцы зеркальной желейной глазури, сливочно-карамельного крема, изготовленные с использованием желатина из коллагенсодержащего сырья животного и рыбного происхождения, белково-полисахаридного композиционного регулятора консистенции. В работе применены аналитические, стандартные и специальные методы исследования. Органолептические показатели оценены с использованием баллового и дескрипторно-профильного метода органолептического анализа. Сенсорные профили и возможные несоответствия продукции составлены руководствуясь общепринятыми и стандартными терминами. Комплексную оценку качества осуществляли квалитетрическими методами. Установлено, что для производства зеркальной желейной глазури рационально вводить следующие концентрации загустителей: животный желатин марки П-200 – 2,0 %; рыбный желатин – 2,0 %. Использование желатина в предложенных дозировках формирует глянецовую поверхность зеркальной желейной глазури. Композиционный регулятор консистенции желатин:агар в соотношении 9:1 позволяет снизить липкость зеркальной глазури и повысить скорость ее застывания на поверхности кондитерского изделия. В сливочно-карамельный крем целесообразно введение животного желатина в концентрации 1,5 %, рыбного желатина – 2,0 %, при этих значениях формируется крем нежной консистенции с высокими показателями однородности, взбиваемости и пышности. Проведены исследования физико-химических и микробиологических показателей полученной продукции. Разработаны регламентируемые органолептические показатели качества отделочных полуфабрикатов. Интегральный показатель конкурентоспособности разработанной продукции составляет 94–98 %.*

Ключевые слова: *отделочные кондитерские полуфабрикаты, зеркальная желейная глазурь, сливочно-карамельный крем, желатин, загуститель.*

Для цитирования: Якубова О. С., Бекешева А. А., Чугунова О. В. Использование желатина различного происхождения в технологии отделочных кондитерских полуфабрикатов // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 65–75. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.009. EDN: <https://elibrary.ru/WCONZI>.

Original article

USE OF GELATIN OF DIFFERENT ORIGIN IN THE TECHNOLOGY OF FINISHING CONFECTIONERIES SEMI-FINISHED PRODUCTS

Olesya S. Yakubova ¹, Adela A. Bekesheva ²,
Olga V. Chugunova ³

^{1,2} Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

³ Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

¹ o.c.yakubova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2489-8041>

² abaygalieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5429-6693>

³ chugun.ova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

Abstract. *The expansion of the range and the creation of products using modern ingredients is an actual direction in the development of the confectionery industry. The purpose of the work is the development of recipes and technology for confectionery finishing semi-finished products - mirror jelly glaze and caramel cream using thickeners of various nature. In the course of the study, samples of mirror jelly glaze, caramel cream made using gelatin from collagen-containing raw materials of animal and fish origin, protein-polysaccharide composite consistency regulator were obtained and analyzed. Analytical, standard and special research methods are used in the work. Organoleptic indicators were assessed using the scoring and descriptor-profile method of organoleptic analysis. Sensory profiles and possible product inconsistencies are drawn up using generally accepted and standard terms. A comprehensive assessment of the quality was carried out by qualimetric methods. It has been established that for the production of mirror jelly glaze it is rational to introduce the following concentrations of thickeners: animal gelatin of the P-200 brand - 2.0%; fish gelatin - 2.0%. The use of gelatin in the proposed dosages forms a glossy surface of a mirror jelly glaze. Composite consistency regulator gelatin: agar in a ratio of 9:1 allows to reduce the stickiness of the mirror glaze and increase the rate of its solidification on the surface of the confectionery product. It is advisable to introduce animal gelatin at a concentration of 1.5%, fish gelatin - 2.0% into a creamy caramel cream, at these values a cream of delicate consistency is formed with high rates of uniformity, whipping and splendor. Studies of the physicochemical and microbiological parameters of the obtained products were carried out. Regulated organoleptic indicators of the quality of finishing semi-finished products have been developed. The integral indicator of the competitiveness of the developed products is 94-98%.*

Keywords: *finishing confectionery semi-finished products, mirror jelly glaze, caramel cream, gelatin, thickener.*

For citation: Yakubova, O.S., Bekesheva, A.A. & Chugunova, O.V. (2023). Use of gelatin of various origins in the technology of finishing confectionery semi-finished products. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 65-75. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.009. <https://elibrary.ru/WCOHZI>.

ВВЕДЕНИЕ

Основными технологическими направлениями развития и повышения конкурентоспособности предприятий пищевой промышленности и индустрии питания являются обновление и расширение ассортимента выпускаемой продукции. Использование разнообразных ингредиентов и отделочных полуфабрикатов при производстве кондитерских изделий – это возможные способы формирования новой ассортиментной линейки продукции предприятия. Среди современных видов отделочных полуфабрикатов значительный интерес представляет зеркальная железная глазурь, являющаяся новым видом глазури с

особенной глянцевой поверхностью. Высокая отражающая способность и уникальность зеркальной глазури достигается использованием в составе желатина. Именно загуститель белковой природы – желатин – позволяет создать привлекательную зеркальную глянцевую поверхность десертов. Одним из актуальных вопросов настоящей работы является исследование способности желатина различного происхождения и композиций на его основе формировать внешний вид поверхности зеркальной глазури и свойства сливочно-карамельного крема.

Традиционные рецептуры отделочных полуфабрикатов для кондитерских изделий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛАТИНА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

содержат точные количественные характеристики и градации качества используемых ингредиентов. Такой подход обуславливает необходимость особого внимания к функционально-технологическим свойствам используемых ингредиентов, в том числе к регуляторам консистенции, так как их свойства существенно отличаются в зависимости от происхождения, вида, типа, марки. В качестве широко распространенного загустителя для кондитерских изделий используется белковый желирующий агент – желатин животного происхождения, в основном вырабатываемый из смеси коллагенсодержащего сырья наземных животных (свиней и крупного рогатого скота). Несмотря на достаточно полное представление в литературных источниках характеристик животного желатина, имеются новые научные данные по гелеобразующим свойствам желатина в кондитерских гелях на основе концентрированных растворов сахара [1], также имеются данные о влиянии сахара на физико-химические свойства желатина [2]. Эти исследования содержат научные предпосылки для разработки зеркальной желейной глазури и применении ее в кондитерских изделиях.

Вопросы безопасности и религиозно-конфессиональные ограничения в отношении животного желатина обращают внимание на пищевую структурообразователь – рыбный желатин, который имеет высокие функционально-технологические свойства и показатели качества, позволяющие эффективно использовать его в качестве регулятора консистенции в пищевой промышленности и индустрии питания [3, 4]. В настоящее время рыбный желатин является достаточно известным регулятором консистенции. Имеются работы отечественных и зарубежных ученых по разработке технологии рыбного желатина, где раскрываются вопросы процессов получения и модификации желатина, полученного из разного регионального рыбного сырья [5, 6, 7]. В научных трудах исследованы свойства желатина из рыбного сырья [8, 9] и применение в пищевых системах в качестве аналога животного желатина [10–17].

В последнее время особую актуальность приобретают композиционные регуляторы консистенции для продуктов питания, создание их обосновано синергизмом функционально-технологических свойств и, как следствие, повышением качества готовой продукции и упрощением технологического процесса производства. Использование белково-полисахаридных композиций структурообразователей (желатин:каррагинан, желатин:альгинат натрия, желатин:камедь, желатин:пектин и др.) технологически обосновано, т.к. растительные полимеры в основном обладают термически стабильными желирующими и загущающими свойствами, а желатин, в свою очередь, способствует эмульгированию и созданию улучшенных сенсорных свойств продукции, подвергаемой структурообразованию [18–28]. Изучено влияние композиций рыбного желатина и хитозана на реологические свойства пленок [29]. Известны физические способы улучшения механических свойств рыбного желатина [7].

Учитывая многообразие и особенности свойств ингредиентов остаются неисследованными вопросы применения желатина различного происхождения в технологии отделочных полуфабрикатов для кондитерских изделий.

В связи с вышеизложенным, целью работы является использование желатина различного происхождения в пищевых системах, разработка рецептур и технологии кондитерской зеркальной желейной глазури и сливочно-карамельного крема с использованием животного и рыбного желатина, а также композиций на их основе с использованием агара, определение факторов, формирующих органолептические показатели качества отделочных полуфабрикатов, а также структуры ассортимента с целью его расширения.

Разработка технологических параметров и обоснование рецептур кондитерских отделочных полуфабрикатов с использованием различных регуляторов консистенции проводилась исходя из следующих положений: улучшение потребительских свойств продукции, обеспечение высоких органолептических характеристик, соответствие требованиям нормативных документов. Для оценки целесообразности использования подобранных структурообразующих компонентов проводились органолептические и физико-химические методы анализа разработанной продукции с использованием комплексного подхода.

Разработка технологических параметров и обоснование рецептур кондитерских отделочных полуфабрикатов с использованием различных регуляторов консистенции проводилась исходя из следующих положений: улучшение потребительских свойств продукции, обеспечение высоких органолептических характеристик, соответствие требованиям нормативных документов. Для оценки целесообразности использования подобранных структурообразующих компонентов проводились органолептические и физико-химические методы анализа разработанной продукции с использованием комплексного подхода.

МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись образцы кондитерских отделочных полуфабрикатов: зеркальная желейная глазурь, сливочно-карамельный крем, изготовленные с использованием различных регуляторов консистенции: животного и рыбного желатина, белково-полисахаридного композиционного регулятора консистенции (КРК). Животный желатин был представлен пищевым желатином в порошкообразной форме марки П-200, выработанный белорусским предприятием ОАО

«Можелит» по ГОСТ 11293-2017. Рыбный желатин является регулятором консистенции, изготовленным по инновационной запатентованной технологии [29] из вторичного рыбного коллагенсодержащего сырья Волго-Каспийского бассейна, соответствует требованиям нормативной технической документации ТУ 20.59.60-002-40749995-2020 «Желатин рыбный. Технические условия». Белково-полисахаридный композиционный регулятор консистенции, в состав которого входят желатин (как белковая часть КРК) и агар пищевой по ГОСТ 16280-2002 (как полисахаридная часть). В состав КРК вводили желатин как животного, так и рыбного происхождения.

Исследования проводились на базе лабораторий кафедры «Технология товаров и товароведение» ФГБОУ ВО «АГТУ» и региональной площадки сетевого взаимодействия ГБПОУ АО «АГПК» по компетенции «Поварское дело» World Skills Russia.

Разработку продукции проводили по ГОСТ 32691-2014. Основные компоненты отделочных полуфабрикатов и их количество подбирали на основании данных традиционных рецептов аналогичной продукции, указанных в сборниках технических нормативов и современных интернет-источниках. Впоследствии традиционные рецептуры и технологии были модифицированы путем использования нетрадиционных структурообразующих ингредиентов и изменения традиционных норм закладок сырья. Рациональное соотношение основных рецептурных компонентов определяли экспериментальным путем, ориентируясь на результаты сенсорной оценки продукта.

Энергетическую ценность продукции определяли расчетным методом с учетом коэффициентов, установленных ФГБУ «НИИ питания» РАМН, ТР ТС 022/2011. Комплексную оценку качества продукции осуществляли квалитетными методами. Уровень конкурентоспособности продукции оценивали путем отношения интегральных показателей конкурентоспособности, которые, в свою очередь, определяли с учетом цены потребления и суммарного полезного эффекта, выраженного комплексным показателем качества продукции.

Методология проведения исследований включала в себя применение органолептических, физико-химических и статистических методов. Органолептические показатели качества анализировали с учетом стандартизированных методик: ГОСТ ISO 5492-2014, ГОСТ ISO 13299-2015, ГОСТ 31986-2012, ГОСТ ISO 6658-2016, ГОСТ ISO 8586-2015, баллового и дескрипторно-профильного метода органолепти-

ческого анализа. Лабораторный контроль физико-химических показателей разработанной продукции производился по стандартным методикам ГОСТ Р 54607.1-2011, ГОСТ Р 54607.2-2012. Показатели безопасности продукции исследовали согласно СанПиН 2.3/2.4.3590-20, СанПиН 2.3.2.1078-01, СанПиН 2.3.2.1280-03, ТР ТС 021/2011. Микробиологические исследования проводили по ГОСТ 31904-2012, ГОСТ 26669-85, ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 31659-2012, ГОСТ 31746, ГОСТ 31747. Достоверность результатов подтверждается измерениями не менее чем в 3-х кратных повторностях, обработкой данных с использованием методов математической статистики и прикладных программ, сопоставлением результатов с данными литературных источников.

Для оценки качества кондитерских отделочных полуфабрикатов разработали балльные шкалы с рейтинговыми оценками, предназначенными для отражения органолептической характеристики продукции. В случае обнаружения недостатков и дефектов проводили регламентированное снижение максимально возможного балла в соответствии с разработанными рекомендациями. Возможные несоответствия и их оценки представлены для зеркальной железной глазури (таблица 1) и для сливочно-карамельного крема (таблица 2). Оценка несоответствий производилась с учетом индивидуальности органолептических характеристик разработанной продукции. В рамках органолептического анализа руководствовались общепринятыми и стандартными терминами и методиками.

Дегустация проводилась с использованием баллового и дескрипторно-профильного метода по пятибалльной шкале с учетом коэффициентов весомости. Шкала интенсивности дескриптора представлена следующим образом: 0 – «не воспринимается», 1 – «слабо воспринимается», 2 – «довольно слабо воспринимается», 3 – «средне воспринимается», 4 – «довольно сильно воспринимается», 5 – «сильно воспринимается».

Качество разработанного продукта определяли в соответствии со следующей градацией, балл: «отличное» – 4,1–5,0; «хорошее» – 4,0–3,1; «удовлетворительное» – 2,1–3,0; «неудовлетворительное» – 2,1–1,0; «неприемлемое» – 1,0 и менее баллов.

Ключевым моментом при разработке рецептур отделочных полуфабрикатов было определение вида и рациональной концентрации загустителя в составе продукта и способа его введения.

В качестве контрольного образца для приготовления зеркальной глазури выбрали рецеп-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛАТИНА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

туру, представленную на кулинарном сайте «Энди Шеф». В качестве контрольного образца для сливочно-карамельного крема использовали традиционную рецептуру сливочного крема.

Таблица 1 – Возможные несоответствия и регламентированное снижение максимально возможного балла органолептической оценки зеркальной желейной глазури

Table 1 – Possible inconsistencies and regulated reduction of the maximum possible organoleptic score of mirror jelly glaze

Возможные несоответствия	Оценка			
внешнего вида				
Неоднородность массы (крупинки / комочки / пузырьки)	4	3	2	1
Наличие посторонних включений	4	3	2	1
Наличие осадка, пятен, разводов	4	3	2	1
Рисунок расплывчатый, смазан	4	3	2	1
Глазурь поседевшая и/или липкая и/или засахаренная	4	3	2	1
Матовая поверхность глазури	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,2			
цвета				
Нетипичная окраска включенных компонентов (молочных, шоколадных и др.)	4	3	2	1
Тусклый и/или бледный и/или интенсивно яркий	4	3	2	1
Неоднородный по всей массе	4	3	2	1
Несвойственный оттенок	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,1			
консистенции				
Водянистая и/или жидкая	4	3	2	1
Излишне клейкая и/или тягучая нить	4	3	2	1
Неоднородная, хрупкая быстро рвущаяся нить	4	3	2	1
Липкая и/или засахаренная и/или крупитчатая нить	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,2			
запаха				
Разлаженный	4	3	2	1
Посторонний запах	4	3	2	1
Запах жженого сахара	4	3	2	1
Слабый и/или интенсивно выраженный запах молочных, шоколадных компонентов	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,25			
вкуса и послевкусия				
Неприятное послевкусие	4	3	2	1
Посторонний привкус	4	3	2	1
Разлаженный	4	3	2	1
Привкус жженого сахара	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,25			

Таблица 2 – Возможные несоответствия и регламентированное снижение максимально возможного балла органолептической оценки сливочно-карамельного крема

Table 2 – Possible inconsistencies and regulated reduction of the maximum possible organoleptic score of creamy caramel cream

Возможные несоответствия	Оценка			
внешнего вида				
Кремовая масса неустойчивая, расслаивающаяся	4	3	2	1
Наличие посторонних включений	4	3	2	1
Отделение влаги в кремовой массе	4	3	2	1
Наличие осадка, пятен, разводов	4	3	2	1
Кремовая масса невзбитая, плоская	4	3	2	1
Интенсивная маслянистость поверхности	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,2			
цвета				
Нетипичная окраска включенных компонентов (сливочно-карамельных и др.)	4	3	2	1
Тусклый и/или бледный и/или интенсивно яркий	4	3	2	1
Неоднородный по всей массе	4	3	2	1
Несвойственный оттенок	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,1			
консистенции				
Излишне плотная и/или тяжелая	4	3	2	1
Комковатая и/или слоистая	4	3	2	1
Слишком жирная	4	3	2	1
Творожистая / крупитчатая	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,2			
запаха				
Невыраженный карамельный аромат	4	3	2	1
Разлаженный	4	3	2	1
Посторонний запах	4	3	2	1
Запах прогорклых жиров	4	3	2	1
Запах жженого сахара	4	3	2	1
Слабый и/или интенсивно выраженный запах сливочных, молочных компонентов	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,25			
вкуса и послевкусия				
Непродолжительное послевкусие (карамельное, молочно-сливочное)	4	3	2	1
Неприятное послевкусие	4	3	2	1
Посторонний привкус	4	3	2	1
Зажиренный, жирный, масляный	4	3	2	1
Разлаженный	4	3	2	1
Прогорклый привкус	4	3	2	1
Прочие несоответствия	4	3	2	1
Не подлежит оценке	0			
Наименьшая оценка показателя, балл				1
Коэффициент весомости показателя	0,25			

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основании проведенных испытаний разработаны рецептуры отделочных полуфабрикатов с желатином различной природы (таблица 3). В рецептурах зеркальной глазури представлены 3 образца загустителя: образец № 1 – на желатине марки П-200; образец № 2 – на рыбном желатине; образец № 3 – на КРК (желатин:агар). Сливочно-карамельный крем изготавливали с желатином различного происхождения: образец № 1 – желатин марки П-200; образец № 2 – рыбный желатин.

Таблица 3 – Рецептурный состав отделочных полуфабрикатов с различными загустителями

Table 3 – Compounding composition of finishing semi-finished products with various thickeners

Наименование продукции	Сырьевые компоненты и их расход в натуре на 100 г полуфабриката, г
Зеркальная желейная глазурь	Образец № 1 – желатин марки П-200 (2,0), сахар (25,0), вода (12,5), сироп глюкозы (25,0), белый шоколад (25,0), сгущенное молоко (16,76), краситель
	Образец № 2 – рыбный желатин (2,0), сахар (25,0), вода (12,5), сироп глюкозы (25,0), белый шоколад (25,0), сгущенное молоко (16,76), краситель
	Образец № 3 – желатин (1,8), агар (0,2), сахар (25,0), вода (12,5), сироп глюкозы (25,0), белый шоколад (25,0), сгущенное молоко (16,76), краситель
Сливочно-карамельный крем	Образец № 1 – сахар (2,6), масло сливочное 82,5 % (1,56), сыр маскарпоне (5,0), сливки 35 % (3,28), желатин марки П-200 (0,15), соль пищевая (0,001)
	Образец № 2 – сахар (2,6), масло сливочное 82,5 % (1,56), сыр маскарпоне (5,0), сливки 35 % (3,28), рыбный желатин (0,2), соль пищевая (0,001)

Технологический процесс производства зеркальной желейной глазури заключается в следующем.

Животный и рыбный желатин предварительно подготавливают путем замачивания в холодной воде в соотношении 1:5 в течение 25–30 минут и нагревают до температуры 75–80 °С, агар предварительно замачивают в холодной воде, продолжительность 15–20 минут, далее доводят до кипения при температуре 95–100 °С), затем соединяют для получения композиционного регулятора консистенции.

Далее соединяют сахар, воду и сироп глюкозы, полученную смесь прогревают до 106 °С, что приводит к образованию концентрированного сиропа и способствует ровному и плотному покрытию поверхности изделия глазурью. Полученный сироп соединяют с предварительно подготовленным загустителем, температура

сиропа – 60–80 °С. Использование более низкой температуры не обеспечивает полного растворения высокомолекулярного белка желатина, более высокая температура способствует термической деструкции белка и ухудшению потребительских свойств загустителя. Далее горячую смесь выливают на белый шоколад (кусочки, дроссы), непрерывно перемешивают. При этом шоколад растапливается и образует с сиропом однородную массу. Затем шоколадную массу соединяют со сгущенным молоком, вводимым для придания гармоничного молочно-сливочного вкуса при постоянном перемешивании. Краситель (гелевый или жидкий) добавляют каплями до достижения необходимой насыщенности цвета. Полученную глазурь тщательно взбивают с помощью погружного блендера при скорости вращения от 167 до 317 с-1 под углом примерно 45 ° в течение 2–3 мин., при необходимости (при появлении пузырьков) глазурь пропускают через мелкое сито. Далее зеркальная глазурь с использованием желатина различного происхождения охлаждается до температуры 29–30 °С, при этой температуре глазурь остается жидкой. Затем глазурь круговыми движениями равномерно наносится на поверхность замороженного изделия, которое выставляется на специальную подставку со свободным стеканием глазури с торцов изделия. В результате получается плотная и однородная глазурь, которая быстро застывает на поверхности замороженного кондитерского изделия и образует глянцевый блеск.

Сироп глюкозы выступает в качестве пластификатора и антикристаллизатора, его добавляют в продукт для предотвращения осахаривания смеси и образования центров кристаллизации сахарозы, что позволяет при застывании оставаться глазури однородной консистенции и с гладкой поверхностью. Для быстрого застывания глазури и предотвращения ее скатывания с поверхности глазируемые изделия предварительно подвергают заморозке с использованием аппарата шоковой заморозки, позволяющего достичь температуры поверхности при покрытии глазурью минус 30±2 °С. При повышении температуры изделия до минус 18–16 °С отмечается снижение толщины и плотности глазури на изделии, повторное нанесение глазури может привести к отслоению с поверхности изделия всей глазури.

Для приготовления зеркальной глазури наиболее приоритетны реологические свойства (вязкость раствора, температура застывания, желеобразующая способность, прочность студня) желатина, они обуславливают быстрое формирование на поверхности за-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛАТИНА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

мороженого изделия слоя глазури и замедление стекания глазури с торцов изделия. Желатин способствует формированию в глазури структурированной системы, образующей в результате сцепления между молекулами высокомолекулярного биополимера, за счет этого вся масса объединяется в единую систему и глазурь имеет зеркальную поверхность. Среди стандартных показателей качества, определяющих реологические свойства желатина, следует отметить динамическую вязкость, так как этот показатель формирует скорость застывания и плотность желейной зеркальной глазури и обусловлен межмолекулярным взаимодействием молекул желатина. Следовательно, чем выше значение этого показателя, тем больше функционально-технологические свойства желатина приемлемы для структурирования глазури. Среди исследованных образцов наиболее высокий показатель динамической вязкости отмечен у рыбного желатина (34,8 мПа·с), стандартный животный желатин марки П-200 (самая высокая марка) имеет значение динамической вязкости – 27,8 мПа·с. Высокая вязкость рыбного желатина, полученного по инновационной технологии [30], его характерная особенность, обусловленная технологическими факторами. Однако следует отметить низкую температуру плавления студней желатина, в особенности рыбного происхождения [7], этот показатель может влиять на стойкость зеркальной глазури при реализации и хранении в зависимости от колебания температур окружающей среды. Для нивелирования возможных снижений реологических показателей в рамках настоящего исследования формировали композиционный регулятор консистенции, сочетающий желатин и агар. Именно агар имеет высокую температуру плавления не менее 80 °С (с массовой долей сухого агара 0,85 %), однако в чистом виде не обеспечивает текучесть и пластичность структурируемой системе. В разработанной композиции данные структурообразователи могут формировать у продукта высокие органолептические и технологические свойства, а также повышенную стойкость готового глазированного изделия к повышению температуры при реализации и хранении. На основании проведенных исследований определена рациональная концентрация композиции желатин:агар в соотношении 9:1. В рамках ведения технологического процесса нанесения зеркальной глазури с КРК (желатин:агар 9:1), установлена рациональная температура 35–37 °С, в отличие от рецептуры зеркальной глазури с использованием исключительно

желатина, температура нанесения в этом случае составляет 29–30 °С. Для глазури с использованием только рыбного желатина отклонений от технологии с использованием животного желатина не отмечается.

Вариации разрабатываемых продуктов сравнивали между собой путем дескрипторно-профильного метода анализа. Графические профилограммы образцов зеркальной глазури (образец № 1 – глазурь с животным желатином (2,0 %); образец № 2 – глазурь с рыбным желатином (2,0 %); образец № 3 – глазурь с КРК (желатин:агар в соотношении 9:1) представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Сенсорные профили желейной зеркальной глазури

Figure 1 – Sensory profiles of jelly mirror glaze

Согласно представленным сенсорным профилограммам (рис. 1), введение КРК (желатин:агар 9:1) улучшает показатели текстурных дескрипторов глазури, происходит формирование однородной плотной глазури, отмечается высокая глазирующая способность и скорость застывания, при этом снижается липкость глазури. Причем на указанные изменения не влияет происхождение желатина.

Технология приготовления сливочно-карамельного крема включает в себя предварительную подготовку структурообразователя путем его замачивания в холодной воде при температуре не выше 20 °С в течение 20–30 мин и «деглазированной карамели». «Деглазированную карамель» готовят путем предварительного плавления сахара, его соединения с кипящими сливками и интенсивного перемешивания до получения однородной массы. Далее «деглазированную карамель» соединяют со сливочным маслом, солью, желатиновой массой и перемешивают.

Готовую карамельную массу вливают в сливочный сыр и взбивают погружным блендером до однородной массы, после чего сливочно-карамельную кремовую массу охлаждают и хранят при температуре 4 ± 2 °С в течение 48 ч. Перед применением сливочно-карамельный крем дополнительно взбивают погружным блендером.

Органолептические профили сливочно-карамельного крема представлены на рисунке 2. На основании предварительно проведенных исследований были выбраны четыре образца с различной дозировкой структурообразователя: образец № 1 – крем с животным желатином (2,8 %); образец № 2 – крем с животным желатином (1,5 %); образец № 3 – крем с рыбным желатином (2,0 %); образец № 4 – крем с рыбным желатином (1,5 %).



Рисунок 2 – Сенсорные профили сливочно-карамельного крема

Figure 2 – Sensory profiles of creamy caramel cream

Анализ экспериментальных образцов (рис. 2) показал, что введение животного желатина марки П-200 в дозировке 2,8 % ухудшает значения показателей внешнего вида и консистенции продукта, что выражается повышенной плотностью и «тяжестью» кремовой массы, пониженной однородностью, пышностью и взбиваемостью. Целесообразно введение животного желатина в концентрации 1,5 %, рыбного желатина – 2,0 %, при котором отмечают формирование нежной консистенции крема с высокими значениями дескрипторов однородности, взбиваемости и пышности.

В результате оценки показателей качества были определены регламентируемые органолептические показатели зеркальной железной глазури и сливочно-карамельного крема с использованием загустителей различной природы (табл. 4).

Таблица 4 – Регламентируемые органолептические показатели качества кондитерских отделочных полуфабрикатов

Table 4 – Regulated organoleptic quality indicators of confectionery finishing semi-finished products

Показатель качества	Зеркальная железная глазурь	Сливочно-карамельный крем
Внешний вид	Блестящий или глянцево-белый, внешний вид; при глазировании полуфабриката создает однородное и равномерное по толщине покрытие; рисунок глазури очень четкий, выраженный, без посторонних включений	Однородная кремовая масса, интенсивно взбитая, с блестящей сметанообразной поверхностью; рисунок четкий, рельефный, выраженный; форма стабильная и устойчивая
Цвет	Яркий, насыщенный, однородный по всей массе, основной тон и оттенки типичны для используемого сырья и красителя	Яркий, насыщенный, янтарно-золотистый, однородный по всей кремовой массе; основной коричневый тон и оттенки типичны для сливочно-карамельных компонентов
Запах (аромат)	Интенсивный, с нотами молочного сливочного и шоколадного сырья, гармоничный, объемный	Интенсивный, с нотами сливочного и карамельного сырья, гармоничный, объемный
Вкус и послевкусие	Насыщенный, сладкий, молочный сливочный, гармоничный, с продолжительным приятным шоколадным послевкусием	Насыщенный, сладкий, сливочный, гармоничный, с продолжительным приятным карамельным послевкусием
Текстура (консистенция)	Однородная, плотная, тягучая; быстро застывающая нить	Однородная, очень нежная, пенообразная пышная кремовая масса, формоустойчивая

Таблица 5 – Физико-химические и микробиологические показатели качества и безопасности разработанной продукции

Table 5 – Physico-chemical and microbiological indicators of the quality and safety of the developed products

Наименование показателя	Опытные образцы кондитерских отделочных полуфабрикатов				
	Зеркальная железная глазурь			Сливочно-карамельный крем	
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2
<i>Физико-химические показатели, %</i>					
Массовая доля сухих веществ	89,0 ± 0,4	88,9 ± 0,4	89,0 ± 0,4	86,2 ± 0,3	86,4 ± 0,3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛАТИНА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Продолжение таблицы 5 / Continuation of table 5

	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2
Массовая доля влаги	11,0 ±0,5	11,1 ±0,5	11,0 ±0,5	13,8 ±0,2	13,6 ±0,2
Массовая доля жира	32,2 ±0,3	32,2 ±0,3	32,3 ±0,3	46,3 ±0,3	46,3 ±0,3
Массовая доля общего сахара	45,1 ±0,2	45,1 ±0,2	45,2 ±0,2	46,1 ±0,3	46,1 ±0,3
<i>Микробиологические показатели:</i>					
КМАФАнМ, КОЕ/г	2*10 ¹	2*10 ¹	3*10 ¹	5*10 ¹	5*10 ¹
БГКП, г (см ³)	Отсутствует			Отсутствует	
Патогенные микроорганизмы	Отсутствует			Отсутствует	
S.aureus, г (см ³)	Отсутствует			Отсутствует	

В отношении образцов кондитерских отделочных полуфабрикатов с различными регуляторами консистенции были исследованы физико-химические и микробиологические показатели качества и безопасности (таблица 5).

Исследования проводили в отношении следующих образцов: для зеркальной глазури – опыт № 1 (желатин марки П-200 – 2,0 %), опыт № 2 (рыбный желатин – 2,0 %), опыт № 3 – (желатин:агар (9:1)); для сливочно-карамельного крема – опыт № 1 (желатин марки П-200 – 1,5 %), опыт № 2 (рыбный желатин – 2,0 %).

Разработанные отделочные полуфабрикаты по микробиологическим показателям безопасности соответствуют требованиям ТС 021/2011 и Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому контролю.

ОБСУЖДЕНИЕ

В отношении образцов отделочных полуфабрикатов была проведена оценка конкурентоспособности. Квалиметрическая оценка желейной глазури показала, что комплексный показатель качества (К) глазури с рыбным и животным желатином находится на одном уровне – 0,94. Снижение значения от максимального обусловлено показателем текстуры, его относительное значение составляет 0,86, отмечена повышенная липкость глазури, связанная с использованием желатина. Применение КРК (желатин:агар 9:1) позволяет повысить данный показатель до уровня 0,98. Также отмечается повышение значений показателей глазирующей способности и скорости застывания, что положительно сказывается на комплексной органолептической оценке.

Квалиметрическая оценка сливочно-карамельного крема показала превышение значения данного показателя для крема с рыбным желатином (0,98) и с животным желатином (0,97) в среднем на 11 % по сравнению с

традиционной рецептурой, что обусловлено улучшенными сенсорными характеристиками крема с рыбным и животным желатином в указанной концентрации по сравнению с традиционным кремом. Это выражается увеличением однородности, пышности и взбиваемости продукта. Данный факт можно объяснить функционально-технологическими свойствами рыбного желатина, индивидуальность и специфичность которых доказана многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых.

Физико-химические показатели образцов отделочных полуфабрикатов с регуляторами консистенции различной природы находятся на одном уровне, что обосновано близостью значений показателей химического состава данных загустителей. Для зеркальной глазури порцией в 30 г, необходимой для покрытия изделия массой нетто 200 г, энергетическая ценность составляет в среднем 72,5 ккал; для кондитерского крема – в среднем 547 ккал на 100 г продукта.

Соотношение интегральных показателей конкурентоспособности зеркальной глазури и эталонных значений показало, что уровень конкурентоспособности продукта с КРК (желатин:агар) составляет 98 %, с использованием только желатина – 94 %. Уровень конкурентоспособности для сливочно-карамельного крема с рыбным желатином составил 98 %, для крема с животным желатином – 97 %. Высокие значения уровня конкурентоспособности разработанной продукции указывают на соответствие отделочных кондитерских полуфабрикатов требованиям рынка пищевой продукции и индустрии питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны технологии и рецептуры зеркальной желейной глазури и сливочно-карамельного крема с использованием рыбного и животного желатина, а также композиционного регулятора консистенции (желатин:агар). Для зеркальной желейной глазури установлено рациональное количество желатина различного происхождения – 2,0 %, указанная дозировка формирует плотную и однородную зеркальную желейную глазурь, которая быстро застывает на поверхности кондитерского изделия и образует глянцевый блеск. Использование композиционного регулятора консистенции желатин и агар в соотношении 9:1 позволяет снизить липкости зеркальной глазури и повысить скорость ее застывания на поверхности кондитерского изделия. В сливочно-карамельный крем целесообразно введение желатина в концентрации 1,5–2,0 %, при этих значениях отмечает-

ся формирование нежной консистенции крема с высокими значениями дескрипторов однородности, взбиваемости и пышности. В рамках исследования разработаны сенсорные дескрипторы для оценки качества кондитерских отделочных полуфабрикатов, представлены шкалы интенсивности дескрипторов с учетом возможных несоответствий, наглядно продемонстрированы органолептические оценки графическими профилограммами. Проведены исследования физико-химических и микробиологических показателей продукции, разработаны регламентируемые органолептические показатели качества зеркальной железной глазури и сливочно-карамельного крема. Новизна технологического решения по зеркальной глазури подтверждена патентом РФ на изобретение № 2 722 724 «Кондитерская железная глазурь». Проведенные исследования имеют важное практическое значение, т.к. позволяют расширить ассортимент кондитерских отделочных полуфабрикатов, улучшить их реологические свойства за счет использования новых композиций загустителей. Использование зеркальной железной глазури и сливочно-карамельного крема с рыбным желатином и композиционным регулятором консистенции (желатин:агар) в предложенном соотношении позволит расширить ассортиментную линейку конкурентоспособных кондитерских изделий, в том числе соответствующих этнокультурным принципам питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Wang R., Hartel R.W. Confectionery gels: Gelling behavior and gel properties of gelatin in concentrated sugar solutions // *Food Hydrocolloids*. 2022. Vol. 124. P. 107132. <https://doi.org/14.946.e2c0f778-19a8-4a9b-9a4d-4f8206b4faf0.1630149542>.
2. Kwak H.W., Park J., Yun H., Jeon K., Kang D.-W. Effect of crosslinkable sugar molecules on the physicochemical and antioxidant properties of fish gelatin nanofibers // *Food Hydrocolloids*. 2021. Vol. 111. P. 106259. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106259>.
3. Nitsuwat S., Zhang P., Ng K., Fang Z. Fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin for food industry: A meta-analysis // *LWT*. 2021. Vol. 141. P. 110899. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110899>.
4. Якубова О.С. Научное обоснование физических свойств рыбного желатина / О.С. Якубова, А.А. Бекешева // *Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Рыб. хоз-во*. 2018. № 3. С. 132–140. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2017-3-132-140>.
5. Zarubin N.Yu., Kharenko E.N., Bredikhina O.V., Nakhod V.I., Mikhailova M.V. Application of the gadidae fish processing waste for food grade gelatin production // *Marine Drugs*. 2021. Vol. 19(8). P. 455. <https://doi.org/10.3390/polym13050743>.

6. Arshad N.M., Ghaffar M.A., Mohtar N.F. Optimization of the extraction procedures and the characterization of fish gelatin from fringescalesardinella (*Sardinellafimbriata*) bones // *AACL Bioflux*. 2021. Vol. 14 (2). P. 672–682.
7. Iakubova O.S., Bekesheva A.A., Aleksanian I.Yu., Maksimenko Yu.A. Thermal structuring of fish gelatin // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 640, № 3. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032011>.
8. Du J., Liu T., Ma L., Zhu H., Zhang Y. Physicochemical Properties of Fish Skin Gelatin Prepared by Sequential Microwave and Rapid Freezing-Thawing Pretreatment Coupled to Gelatinization // *Shipin Kexue / Food Science*. 2021. Vol. 42(11). P. 108–115.
9. Shiao W.-C., Wu T.-C., Kuo C.-H., Hong Y.-H., Huang C.-Y. Physicochemical and antioxidant properties of gelatin and gelatin hydrolysates obtained from extrusion-pretreated fish (*Oreochromis* sp.) scales // *Marine Drugs*. 2021. Vol. 19(5). P. 275. <https://doi.org/doi: 10.3390/md19050275>.
10. Dehghan Tanha L., Khoshkhoo Z., Azizi M.H. Application of edible coating made of sturgeon gelatin and *Portulaca oleracea* extract for improving the shelf life of fish sausages // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021. Vol. 15(5). P. 4306–4313. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01013-6>.
11. Hadidi M., Majidiyan N., Jelyani A.Z., Hadian Z., Khanegah A.M. Alginate/fish gelatin-encapsulated *Lactobacillus acidophilus*: A study on viability and technological quality of bread during baking and storage // *Foods*. 2021. Vol. 10(9). P. 2215. <https://doi.org/10.3390/foods10092215>.
12. Getachew A.T., Ahmad R., Park J.-S., Chun B.-S. Fish skin gelatin based packaging films functionalized by subcritical water extract from spent coffee ground // *Food Packaging and Shelf Life*. 2021. Vol. 29. P. 100735. <https://doi.org/10.1016/j.foodpsl.2021.100735>.
13. Xu J., Zhang T., Zhang Y., Wang X., Zhong J. Silver carp scale gelatins for the stabilization of fish oil-loaded emulsions // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 186. P. 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.043>.
14. Zhao X., Chen L., Wongmaneepratip W., Zhao L., Yang H. Effect of vacuum impregnated fish gelatin and grape seed extract on moisture state, microbiota composition, and quality of chilled seabass fillets // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 354. P. 129581. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129581>.
15. Liu L., Tao L., Chen J., Wang X., Zhong J. Fish oil-gelatin core-shell electrospun nanofibrous membranes as promising edible films for the encapsulation of hydrophobic and hydrophilic nutrients // *LWT*. 2021. Vol. 146. P. 111500. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111500>.
16. Taktak W., Nasri R., López-Rubio A., Nasri M., Karra-Chaâbouni M. Design and characterization of novel ecofriendly European fish eel gelatin-based electrospun microfibers applied for fish oil encapsulation // *Process Biochemistry*. 2021. Vol. 106. P. 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.03.031>.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛАТИНА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

17. Abdelhedi O., Salem A., Nasri R., Nasri M., Jridi M. Food applications of bioactive marine gelatin films // *Current Opinion in Food Science*. 2022. Vol. 43. P. 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.12.005>.
18. Derkach S.R., Kolotova D.S., Voron'ko N.G., Obluchinskaya E.D., Malkin A.Y. Rheological Properties of Fish Gelatin Modified with Sodium Alginate // *Polymers*. 2021. Vol. 13. P. 743. <https://doi.org/10.3390/polym13050743>.
19. Hongrui Chen, Di Wu, Wuchao Ma, Chao Wu, Yongqi Tian, Shaoyun Wang, Ming Du. Strong fish gelatin hydrogels enhanced by carrageenan and potassium sulfate // *Food Hydrocolloids*. 2021. Vol. 119. P. 106841. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106841>.
20. Bostar M., Hosseini E. Improving the functional properties of fish gelatin by conjugation with the water-soluble fraction of bitter almond gum // *Food Sci Biotechnol*. 2021. Vol. 30(1). P. 55–63. <https://doi.org/doi:10.1007/s10068-020-00847-y>.
21. Tao Huang, Zongcai Tu, Xinchun Shanguan, Hui Wang, Lu Zhang, Nidhi Bansald. Characteristics of fish gelatin-anionic polysaccharide complexes and their applications in yoghurt: Rheology and tribology // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 343. P. 128413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.12.8413>.
22. Yin M., Yang D., Lai Sh., Yang H. Rheological properties of xanthan-modified fish gelatin and its potential to replace mammalian gelatin in low-fat stirred yogurt // *Food Science and Technology*. 2021. Vol. 147. P. 222643. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111643>.
23. Bostar M., Hosseini E. Improving the functional properties of fish gelatin by conjugation with the water-soluble fraction of bitter almond gum // *Food Sci Biotechnol*. 2021. Vol. 30(1). P. 55–63. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00847-y>.
24. Huang S., Tu Z., Sha X., Chen N., Wang H. Fabrication and performance evaluation of pectin-fish gelatin-resveratrol preservative films // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 361. P. 129832. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129832>.
25. Liu J., Liu F., Ren T., Yao Y., Chen H. Fabrication of fish gelatin / sodium alginate double network gels for encapsulation of probiotics // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021. Vol. 101(10). P. 4398–4408. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11081>.
26. Wang M., Tu Z., Hu Y., Wang H. Effect of Non-Covalent Forces on Fish Gelatin-Pectin Composite Gel Systems // *Shipin Kexue/Food Science*. 2021. Vol. 42(6). P. 1–7.
27. Zhao H., Kang X., Zhou X., Lou Q., Huang T. Glycosylation fish gelatin with gum Arabic: Functional and structural properties // *LWT*. 2021. Vol. 139. P. 110634. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110634>.
28. Sow L.C., Kong K., Yang H. Structural modification of fish gelatin by the addition of gellan, k-carrageenan and salts mimics the critical physicochemical properties of pork gelatin // *Journal of food science*. 2018. Vol. 83, № 5. P. 1280–1291. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14123>.
29. Mousavi Z., Naseri M., Babaei S., Seyed Mohammad Hashem Hosseini, Seyed Sharam Shekarforoush. The effect of cross-linker type on structural, antimicrobial and controlled release properties of fish gelatin-chitosan composite films incorporated with ϵ -poly-L-lysine // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 183. P. 1743–1752. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.159>.
30. Способ получения рыбного желатина: пат. 2 722 210 С1 Рос. Федерация, С09Н 1/00 / О.С. Якубова, А.А. Бекешева ; ООО «Биополимер-НЕО». № 2019141779 (RU); заяв. 16.12.2019; опубл. 28.05.2020, Бюл. № 16.

Информация об авторах

О. С. Якубова – к. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии товаров и товароведения.

А. А. Бекешева – к. техн. наук, доцент кафедры технологии товаров и товароведения.

О. В. Чугунова – д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой технологии питания.

Information about the authors

O.S. Yakubova - Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of goods and commodity science, Astrakhan State Technical University.

A.A. Bekesheva - Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of goods and commodity science, Astrakhan State Technical University.

O.V. Chugunova - Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of Department of Nutrition Technology, Ural State University of Economics.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.834.2

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.010



ПРИМЕНЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК И ВОПРОСЫ ИХ РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЯ В ЧИПСАХ

Ирина Юрьевна Резниченко

Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия
irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

Аннотация. Чипсы пользуются постоянным спросом. Несмотря на то, что современный покупатель знает, что они не относятся к продуктам здорового питания, многих привлекают их вкусовые характеристики и хрустящая текстура. Технология приготовления чипсов подразумевает воздействие высоких температур при жарке, что оказывает негативное влияние на качество готового продукта, так как образуются акриламид и фуран – токсичные соединения. Для придания вкусо-ароматических характеристик чипсам, а также сохранения их структуры во время транспортирования и хранения используют пищевые добавки определенного назначения, что также оказывает влияние на безопасность изделий. Учитывая технологические особенности приготовления картофельных чипсов, а также разнообразный состав пищевых добавок, применяемых для формирования привлекательных вкусо-ароматических свойств, актуальным является определение норм содержания пищевых добавок в чипсах. Объектами исследования являлись образцы чипсов различных торговых марок, представленные ритейлом. В качестве метода исследования применяли методы анализа, систематизации, обобщения информационных данных поисковых отечественных и международных систем за последние шесть лет. В составе анализируемых чипсов выявлены пищевые добавки различного назначения: усилители вкуса и аромата, антислеживающие агенты, регуляторы кислотности, эмульгаторы, консерванты, красители. На маркировке отсутствуют сведения об их количественном составе, рекомендуемых нормах потребления продукта. Результаты исследования свидетельствуют о необходимости установления регламентированного содержания применяемых в составе чипсов пищевых добавок и вынесения информации об их количестве на маркировку. Информация на маркировке о норме потребления чипсов и доле пищевых добавок в 100 г продукта может служить важной информацией для покупателей, придерживающихся здорового питания.

Ключевые слова: чипсы, пищевые добавки, технические характеристики, нормы потребления чипсов, регламентирование содержания пищевых добавок, маркировка.

Для цитирования: Резниченко И. Ю. Применение пищевых добавок и вопросы их регламентирования в чипсах // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 76–82. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.010. EDN: <https://elibrary.ru/VQHPIA>.

Original article

USE OF FOOD ADDITIVES AND ISSUES OF THEIR REGULATION IN CHIPS

Irina Yu. Reznichenko

Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia
irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

Abstract. Chips are in constant demand, although the modern consumer knows that they are not healthy foods, but many are attracted by their taste characteristics and crispy texture. The technology of making chips involves exposure to high temperatures during frying, which has a negative impact on

© Резниченко И. Ю., 2023

the quality of the finished product, because. acrylamide and furan are formed - toxic compounds. To impart taste and aromatic characteristics to chips, as well as to preserve their structure during transportation and storage, food additives of a certain purpose are used, which also affects the safety of products. Given the technological features of the preparation of potato chips, as well as the diverse composition of food additives used to form attractive flavoring properties, it is important to determine the normalized quantitative content of food additives in chips. The objects of the study were samples of chips of various brands, presented by retailers. As a research method, methods of analysis, systematization, and generalization of information data from search domestic and international systems for the last five years were used. As part of the analyzed chips, food additives for various purposes were identified: flavor and aroma enhancers, anti-caking agents, acidity regulators, emulsifiers, preservatives, dyes. The label does not contain information about their quantitative composition, recommended consumption rates of the product. The results of the study indicate the need to establish the regulated content of food additives used in the composition of chips and to submit information about their quantity to individual labeling. Information on the label about the amount of consumption of chips and the proportion of food additives per 100 g of product can serve as an attractive alternative for consumers who adhere to a healthy diet.

Keywords: chips, food additives, specifications, consumption standards for chips, regulation of the content of food additives, labeling.

For citation: Reznichenko, I.Yu. (2023). Use of food additives and issues of their regulation in chips. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 76-82. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.010. <https://elibrary.ru/VQHPIA>.

ВВЕДЕНИЕ

Под чипсами принято понимать картофель, нарезанный тонкими ломтиками в виде хрустящих пластинок, обжаренных в растительном масле. Чипсы относят к закускам, употребляют их чаще всего с пивом или другими напитками. Ассортимент разнообразен и включает чипсы с луком, с сыром, со сметаной, с беконом, с укропом и другие виды различных торговых марок. Чипсы пользуются постоянным спросом у всех возрастных категорий потребителей, хотя современный покупатель знает, что они не относятся к продуктам здорового питания. В частности, потребителей настораживает большое количество знаков «Е» (пищевых добавок), указанное на маркировке чипсов, но многих привлекают их вкусовые характеристики и хрустящая текстура.

Наблюдения и опрос предпочтений, проведенные в отношении рациона студентов и сотрудников одного из крупных университетов Австралии, показали необходимость стратегии вмешательства для формирования ассортимента в пунктах общественного питания студентов и сотрудников шести кампусов университета. Предложено исключить продажу чипсов и некоторые виды напитков в кафе, торговых автоматах, круглосуточных магазинах и ресторанах и одновременно повышать цены на нездоровую пищу и снижать цену на продукты здорового питания [1]. Определена взаимосвязь между потреблением продуктов и местом приема пищи у британских подростков на основе анализа в рамках Британской

национальной программы исследования диеты и питания [2]. Установлено, что менее здоровую пищу, такую как чипсы, безалкогольные напитки, шоколад, подростки употребляют как вдали от дома, так и в школе, в связи с чем разработана политика общественного здравоохранения, направленная на здоровое питание [2].

Приведены результаты самооценки гормональных изменений, связанных с употреблением чипсов у студенток университета в Саудовской Аравии. Потребление чипсов подтвердили 92 %, из них 78 % отметили их высокие вкусовые качества. Установлена связь между потреблением чипсов и репродуктивными гормональными изменениями [3]. Отмечено, что закуски, обогащенные витаминами и заявленные как диетические продукты, могут привести к неверному выбору потребителей. Политика Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов США (FDA) в отношении обогащения не поощряет обогащение определенных продуктов, включая сахар, закуски, такие как чипсы и газированные напитки. Это связано с тем, что потребитель, знакомясь с информацией о товаре, выбирает продукт с более здоровым профилем питательных веществ и воспринимает продукт как более полезный [4]. Тенденция к здоровому образу жизни характерна для многих современных потребителей [5].

Чипсы характеризуются высоким содержанием углеводов, жиров и низким содержанием белка и витаминов. Традиционно в качестве сырья используют картофель (или картофельную муку) и кукурузу, а чипсы по-

лучают путем жарки или запекания при температуре от 170 до 190 °С.

Результаты многих исследований доказывают негативное влияние высоких температур жарки на качество готовых изделий, в частности жареных закусок, чипсов, т.к. во время обжарки продуктов выделяются токсичные соединения: акриламид и фуран. Акриламид – нейротоксин и канцероген для человека. Исследование на содержание акриламида более трех сотен образцов пищевых продуктов, реализуемых во Вьетнаме, показало, что самое высокое его содержание – в жареной пище (чипсы, жареный картофель фри, жареные пироги, жареная лапша и др.); в нежареных лапше, сушеных овощах его содержание намного ниже [6].

Постановлением Европейской комиссии (ЕС) установлены контрольные уровни акриламида в различных пищевых продуктах из-за его негативного влияния на человека. По этой причине возрос интерес пищевой промышленности в разработке методов обработки для уменьшения образования акриламида и в то же время для поддержания приемлемого качества конечной продукции [7].

Так как высокое содержание акриламида в чипсах сопряжено с развитием сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, предложена технология приготовления чипсов в съедобном покрытии из белков молочной сыворотки и экстрактов розмарина, что позволяет снизить долю жира на 8–30 % и акриламида до 130 мкг/кг [8].

Предложена технология приготовления картофельных чипсов с использованием конвекции горячего воздуха или импульсного инфракрасного излучения (ИК-излучение), установлено, что ИК-излучение при 60 °С в течение 5 часов с последующей сушкой горячим прессом при 180 °С позволяет получить чипсы хрустящей структуры и хорошего качества [9].

Проведено исследование качества чипсов на содержание акриламида и фенолов, приготовленных при разных режимах: сушкой горячим воздухом (75–85 °С), вакуумной сушкой (75–85 °С, 250 мБар) и микроволновой сушкой (90 Вт и 180 Вт) при введении в рецептуру различных наполнителей. Показано, что сырьевые добавки (зеленые оливки, нут, фасоль), вводимые в состав чипсов, оказывают определенное влияние на антиоксидантную активность и количество фенолов в зависимости от способа приготовления [10]. Установлено снижение количества фурана и акриламида в картофельных чипсах при приготовлении с помощью вакуумной жарки.

Обжарка картофеля при атмосферном

давлении $P = 29,92$ рт.ст. и в условиях вакуума $P_{\text{Рабс.}} = 3,00$ Н/м³ с использованием эквивалентных тепловых движущих сил (разница между температурой точки кипения воды и температурой точки кипения масла составляет от 50 до 70 °С) [11]. При данных параметрах содержание фурана и акриламида снижается до 30 %, в связи с чем вакуумная жарка является эффективной технологией уменьшения количества вредных веществ при сохранении качественных характеристик продукта.

Другим методом, доказавшим снижение содержания акриламида в термически обработанных пищевых продуктах, является применение альгината натрия в качестве покрывающего агента. При оптимизированных условиях обработки: альгинат натрия в концентрации 1,34 %, время жарки 4,38 минут и температура жарки 179 °С, степень ингибирования акриламидом составляла 76,59 %. По сравнению с контрольным образцом чипсов абсорбция масла чипсами с покрытием значительно снизилась, в тоже время добавление альгината натрия не повлияло на качество картофельных чипсов. Анализ с помощью сканирующего электронного микроскопа показал, что покрытие альгинатом натрия может эффективно предотвращать поглощение масла, что может способствовать уменьшению воздействия акриламида [12].

Предложена технология приготовления чипсов, которая исключает контакт ломтика с маслом [13].

Проведение исследований с целью снижения негативного влияния технологической обработки на качество чипсов дают свои положительные результаты [14].

Современные технологические решения по повышению биологической ценности чипсов также имеют значение в расширении ассортимента здоровых чипсов [15]. Представлены результаты исследования по моделированию рецептур чипсов на основе ягодно-овощных жмыхов, которые рассматривали в качестве источника пищевых волокон, устойчивых во всем видах переработки: механической, тепловой [15].

Разработана технология чипсов из белого мяса птицы с повышенным содержанием белка, экстрактивных веществ и пониженным содержанием жира [16]. Для разнообразия вкусовых характеристик в настоящее время ведутся исследования по производству картофельных чипсов с добавлением зеленых оливок, нута, фасоли для создания функциональной закуски, привлекательной для покупателей всех возрастных категорий и имею-

щей повышенную пищевую ценность и функциональную направленность [17, 18].

Требования к нормируемым показателям качества чипсов отсутствуют, хотя по сути их можно отнести к продуктам переработки овощей, фруктов и грибов (ГОСТ 28322-2014). Многие авторы относят чипсы к снековой продукции, на которую также отсутствуют нормируемые требования к качеству.

Учитывая технологические особенности приготовления картофельных чипсов, а также разнообразный состав пищевых добавок, применяемых для формирования привлекательных вкусо-ароматических свойств, актуальным является определение нормируемого количественного содержания пищевых добавок в чипсах.

В связи с вышеизложенным целью работы заключалась в анализе состава образцов чипсов и разработке рекомендаций по определению технических характеристик продукции для обеспечения потребителя качественным и безопасным товаром.

МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись образцы отечественных чипсов, реализуемых на потребительском рынке. Характеристика объектов приведена в таблице 1.

В качестве метода исследования применяли методы анализа, систематизации и обобщения данных. Использовали информационные данные поисковых отечественных и международных систем (*Elibrary.ru, Scimago Journal Country Rank, Scopus, Scielo, Googleacademy, Elsevier, Academicpress, Купер Ленинка*).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ состава анализируемых образцов чипсов показал, что во всех образцах присутствуют пищевые добавки от трех до девяти видов различного назначения [20].

Во всех образцах содержится добавка

E621 (глутамат натрия) – усилитель вкуса и аромата, который применяется при производстве разнообразных пищевых продуктов. Норма потребления глутамата натрия в сутки составляет не более 10 г на 1 кг массы тела взрослого человека, 3–4 г на 1 кг массы тела для детей старше трех лет (Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), приложение 16) [19]. Превышение нормы потребления может спровоцировать головную боль, отдышку, ухудшение зрения, сверхдопустимые дозы вызывают аллергию.

В четырех образцах присутствует пищевая добавка E627 (гуанилат натрия) – усилитель вкуса, которая, как правило, всегда дополняет E621 и усиливает специфический вкус, свойственный глутамату. Норма потребления в сутки составляет не более 500 мг/кг массы тела человека. Не рекомендуется включать в рацион детей до 12 лет, людям с астмой и подагрой, как гуанилат натрия в организме человека трансформируется в пурины, которые являются опасными веществами.

Пищевая добавка E631 (инозинат натрия) присутствует также в четырех образцах. Эта добавка также усиливает вкус и аромат продукта. Норма потребления в сутки не более 0,5 г/кг массы тела человека. Потребление большего количества может вызвать проблемы с желудочно-кишечным трактом, аллергию.

Добавка E551 (диоксид кремния) является антислеживающим агентом, применяется для предупреждения слипания чипсов. Отрицательное воздействие на организм человека данной добавки не выявлено, несмотря на это, его содержание в составе продукта не должно превышать 30 г на 1 кг. При применении в сахарном песке, соли, сырах и сухих порошкообразных смесях его содержание не должно превышать 10 г на 1 кг.

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования

Table 1 – Characteristics of research objects

№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
					
Чипсы пшеничные «5G» со вкусом «Икра красная»	Московский картофель «Со вкусом лисичек в сливочном соусе»	Чипсы Картофельные «Snack» со вкусом сладкого тайского перца	Чипсы «Русская картошка» сметана и лук	Чипсы «Lays» сметана и зелень	Чипсы «Cheetos» хот-дог

Продолжение таблицы 5 / Continuation of table 5

№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Стабилизатор модифицированный крахмал, глутамат натрия 1-замещенный, лимонная кислота, натуральный краситель, антикомкователь	Декстроза, глутамат натрия 1-замещенный, 5-гуанилат натрия 2-замещенный, мальтодекстрин картофельный, стабилизатор – эфир крахмала и натриевой соли октенил янтарной кислоты, антислеживающий агент – диоксид кремния аморфный, красители (каротины)	Дигидропирофосфат натрия, антиокислитель аскорбилпальмитат, консервант пиросульфит натрия, регулятор кислотности, глутамат натрия 1-замещенный, 5-гуанилат натрия 2-замещенный, 5-инозинат натрия – замещенный, ацетат натрия, подсластитель сукралоза, агент антислеживающий ферроцианид калия, эмульгатор моноидиглицериды жирных кислот	Глутамат-натрит 1-замещенный, 5'-инозинат натрия 2-замещенный, Диоксид кремния аморфный	Глутамат-натрит 1-замещенный, 5'-инозинат натрия 2-замещенный, 5'-гуанилат натрия 2-замещенный, диацетат натрия	Глутамат-натрит 1-замещенный, 5'-инозинат натрия 2-замещенный, 5'-гуанилат натрия 2-замещенный, хлорид калия
E1450, E621, E330, E160c, E551.	E621, E627, E459, E551	E1401, T304, E223, E621, E627, E631, E262, E536, E471.	E621, E631, E551	E621, E631, E627	E621, E631, E627, E505

В образце № 6 содержится пищевая добавка E505 (карбонат железа) в качестве регулятора кислотности, эмульгатора. В настоящее время от применения данной добавки в пищевых целях отказались страны Евросоюза, а также Россия и Украина.

Пищевая добавка E223 (пиросульфат натрия) является консервантом, антиоксидантом и относится к синтетическим антиоксидантам. Содержание в продукте не должно превышать 400 мг/кг. Безопасная норма потребления E223 – 0,7 мг на 1 кг веса взрослого здорового человека. В больших дозах пиросульфит натрия может вызвать проблемы с желудочно-кишечным трактом и аллергические реакции, вплоть до астмы.

E536 (ферроцианид калия) присутствует в составе образца № 3. Добавка применяется для предотвращения комкования и слеживания продукта. Широко применяется в производстве колбас, в виноделии, в производстве смесей специй. Использование пищевой добавки E536 официально разрешено в России, Беларуси, странах Евросоюза, США. Однако применять ее можно в строго допустимых дозах (20 мг/кг продукта).

Краситель – экстракт паприки (E160c) обнаружен только в одном образце № 1. Пищевая добавка используется для придания

или восстановления пищевым продуктам цвета, утраченного в процессе технологической переработки. В более высоких концентрациях добавка придает острый вкус. Норма суточного потребления составляет не более 5 мг/кг массы тела человека. Превышение допустимого количества может вызвать аллергические реакции.

Как видно из приведенных данных, многие пищевые добавки направлены на усиление вкуса и запаха чипсов, придания привлекательных сенсорных характеристик продукту, в тоже время на маркировке всех образцов отсутствуют данные о нормах суточного потребления продукта и данные о количественном содержании применяемых пищевых добавок.

Исследования, проведенные учеными лаборатории Центра передовых сенсорных наук Университета Дикина Австралии среди 153 студентов университета, показали, что наличие этикетки с информацией о нормах употребления чипсов влияет на выбор продукта. В случае присутствия информации снижение потребления продукта отмечено на 9 % [21]. Показано, что маркировка является многообещающим способом снижения привычного потребления вредных закусок молодыми, заботящимися о своем здоровье людьми.

Согласно рекомендациям ВОЗ, употребление чипсов следует ограничить до 1 % от ежедневного количества энергии, поступающей в организм с пищей, что соответствует примерно 2 г в день [24]. Хотя в руководстве по детскому питанию и физической активности детей от 6 до 10 лет отмечен запрет на использование в рационе чипсов [23].

Подводя итог вышеизложенному, можно рекомендовать на маркировке чипсов, приготовленных по традиционной технологии, в обязательном порядке указывать информацию о рекомендуемой суточной норме потребления продукта (с учетом его состава) для взрослых и детей старше 10 лет, информацию «детям до 10 лет употребление продукта не рекомендуется». В нормативном документе на чипсы (ТУ, СТО) указывать содержание применяемых пищевых добавок, при сертификации и контроле качества продукта контролировать уровень пищевых добавок с учетом предельных концентраций их применения при изготовлении продукции.

ВЫВОДЫ

Результаты исследований вносят вклад в теоретическую и практическую дискуссию о нормировании содержания пищевых добавок в чипсах и свидетельствуют о необходимости установления регламентированного содержания применяемых в составе чипсов пищевых добавок и вынесение информации об их количестве на индивидуальную маркировку. Информация на маркировке о норме потребления чипсов и доле пищевых добавок в 100 г продукта может служить важной информацией для покупателей, придерживающихся здорового питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Roy, D. Soo, D. Conroy, C.R. Wall, B. Swinburn, Exploring University Food Environment and On-Campus Food Purchasing Behaviors, Preferences, and Opinions 2019. Vol. 7. № 51. P. 33. DOI 10.1016/j.jneb.2019.03.003.
2. Palla L. Chapman, A., Beh, E., Pot, G. & Almiron-Roig, E. Where Do Adolescents Eat Less-Healthy Foods? Correspondence Analysis and Logistic Regression Results from the UK National Diet and Nutrition Survey // *Nutrients*. 2020. Т. 12. № 8. P. 2235. DOI 10.3390/nu12082235.
3. Alansari AKA Self-reported hormonal changes associated with consumption of fried potato chips among female university students in Saudi Arabia, Mecca: a cross-sectional study // *American Journal of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. 2019. Т. 9. № 2. P. 1-7.
4. Verrill L. Wood, D., Cates, S., Lando, A. & Zhang, Y. Vitamin-fortified snack food may lead consumers to make poor dietary decisions // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2017. Т. 117. № 3. С. 376-385. DOI 10.1016/j.jand.2016.10.008.
5. Сандракова, И.В. Исследование потребителей продуктов здорового питания // *Практический маркетинг*. 2019. № 12 (274). С. 22-27.
6. Hai Y.D. Tran-Lam, T.T., Nguyen, T.Q., Vu, N.D., Ma, K.H.,

Le, G.T. Acrylamide in daily food in the metropolitan area of Hanoi, Vietnam // *Food Additives & Contaminants: Part B*. 2019. Т. 12. № 3. P. 159-166. DOI 10.1080/19393210.2019.1576774.

7. Schouten M.A. Genovese, J., Tappi, S., Di Francesco, A., Baraldi, E., Cortese, M. Effect of innovative pre-treatments on the mitigation of acrylamide formation in potato chips // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. Т. 64. P. 102397. DOI 10.1016/j.ifset.2020.102397.
8. Sara Trujillo-Agudelo, Ana Osorio, Faver Gómez. Evaluation of the application of an edible coating and different frying temperatures on acrylamide and fat content in potato chips // *Journal of Food Process Engineering*. 2020. V. 43. T. 5. P. 13198. DOI 10.1111/jfpe.13198.
9. Oh S., Ramachandiraiah K., Hong G.P. Effects of pulsed infra-red radiation followed by hot-press drying on the properties of mashed sweet potato chips // *LWT-Food Science and Technology*. 2017. Т. 82. P. 66-71. DOI 10.1016/j.lwt.2017.04.023.
10. Halil, T., Tamer, C.E., Suna, S. & Karabacak, A.Ö. Investigations of some quality parameters and mathematical modeling of dried functional chips. *Heat and Mass Transfer*. 2020. 56(4). P. 1099-1115. DOI 10.1007/s00231-019-02757-0.
11. Mariotti-Celis M.S. Cortés, P., Dueik, V., Bouchon. Application of vacuum frying as a furan and acrylamide mitigation technology in potato chips // *Food and Bioprocess Technology*. 2017. Т. 10. № 11. P. 2092-2099. DOI 10.1007/s11947-017-1981-5.
12. Liu H., Li X., Yuan Y. Mitigation effect of sodium alginate on acrylamide formation in fried potato chips system based on response surface methodology // *Journal of Food Science*. 2020. Т. 85. № 8. P. 2615-2621. DOI 10.1111/1750-3841.15343.
13. Невапённая А.А., Долганова Н.В. Сравнительный анализ органолептических характеристик диетических чипсов, приготовленных по новой технологии // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2017. № 3 (44). С. 61-65.
14. Baharinikoo L., Chaichi M., Ganjali M. Detecting the amount of acrylamide in potato chips using cde surface functionalized quantum dots by fluorescence spectroscopy // *Zurnal prikladnojspektroskopii*. 2020. Т. 87. № 3. С. 439-447.
15. Ермош Л.Г., Присухина Н.В., Фадеев К.А. Использование отходов сокового производства для рецептурного состава ягодно-овощных чипсов // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 6 (171). С. 163-169.
16. Гуринович Г.В., Иванов И.В., Кудряшов Л.С. Новая технология чипсов из белого мяса птицы // *Мясная индустрия*. 2014. № 2. С. 18-20.
17. Kyriacou M.C., Roupheal Y. Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables // *Scientia Horticulturae*. 2018. V. 234. P. 463-469.
18. Milczarek R.R. [et al.]. Физическое, микробное и химическое качество чипсов хурмы, высушенных горячим воздухом (*Diospyros kaki*) при хранении // *Journal of Food Quality*. 2020. Т. 20. P. 20.
19. ТР ТС 029/2012 Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. <https://docs.cntd.ru/document/902359401>.
20. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/depsanmer/sanmeri/Pages/P2_299.aspx.
21. Hartley, I., Keast, R. & Liem, D. Physical activity-equivalent label reduces consumption of discretionary snack foods. *Public Health Nutrition*, 2018.21(8). P. 1435-1443. DOI 10.1017/S1368980018000228.
22. ВОЗ призывает все страны запретить или ограничить использование трансжиров в продуктах питания. <https://news.un.org/ru/story/2020/09/1385392>.
23. Руководство по детскому питанию и физической активности. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/334380/WHO-EURO-2020-1115-40861-55277-rus.pdf>.

Информация об авторе

И. Ю. Резниченко – доктор технических

наук, профессор кафедры «Биотехнологий и производства продуктов питания».

REFERENCES

- Roy, D. Soo, D. Conroy, C.R. Wall, B. Swinburn (2019). Exploring University Food Environment and On-Campus Food Purchasing Behaviors, Preferences, and Opinions. 51.7 DOI 10.1016/j.jneb.2019.03.003.
- Palla, L., Chapman, A., Beh, E., Pot, G. & Almiron-Roig, E. (2020). Where Do Adolescents Eat Less-Healthy Foods? Correspondence Analysis and Logistic Regression Results from the UK National Diet and Nutrition Survey // *Nutrients*. 12. 8. 2235. DOI 10.3390/nu12082235.
- Alansari (2019). Self-reported hormonal changes associated with consumption of fried potato chips among female university students in Saudi Arabia, Mecca: a cross-sectional study // *American Journal of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. 9. (2), 1-7.
- Verrill, L. Wood, D., Cates, S., Lando, A. & Zhang, Y. (2017). Vitamin-fortified snack food may lead consumers to make poor dietary decisions // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 117 (3), 376-385. DOI 10.1016/j.jand.2016.10.008.
- Sandrakova, I.V. Reznichenko I.Yu. (2019). A study of consumers of healthy food // *Practical marketing*. 12 (274). 22-27. (In Russ.).
- Hai, Y.D. Tran-Lam, T.T., Nguyen, T.Q., Vu, N.D., Ma, K.H., Le, G.T. (2019). Acrylamide in daily food in the metropolitan area of Hanoi, Vietnam // *Food Additives & Contaminants* 12(3).159-166. DOI 10.1080/19393210.2019.1576774.
- Schouten, M.A. Genovese, J., Tappi, S., Di Francesco, A., Baraldi, E., Cortese, M. (2020). Effect of innovative pre-treatments on the mitigation of acrylamide formation in potato chips // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 64. 102397. DOI 10.1016/j.ifset.2020.102397.
- Sara Trujillo-Agudelo, Ana Osorio, Faver Gomez. (2020). Evaluation of the application of an edible coating and different frying temperatures on acrylamide and fat content in potato chips // *Journal of Food Process Engineering* 43.5)13198. DOI 10.1111/jfpe.13198.
- Oh, S., Ramachandraiah, K., Hong, G.P. (2017). Effects of pulsed infra-red radiation followed by hot-press drying on the properties of mashed sweet potato chips // *LWT-Food Science and Technology*. 82. 66-71. DOI 10.1016/j.lwt.2017.04.023.
- Halil, T., Tamer, C.E., Suna, S. & Karabacak, A.Ö. (2020). Investigations of some quality parameters and mathematical modeling of dried functional chips. Heat and Mass Transfer, 56(4), 1099-1115. DOI 10.1007/s00231-019-02757-0.
- Mariotti-Celis, M.S. Cortes, P., Dueik, V., Bouchon. (2017). Application of vacuum frying as a furan and acrylamide mitigation technology in potato chips // *Food and Bioprocess Technology*. 10. 11. 2092-2099. DOI 10.1007/s11947-017-1981-5.
- Liu, H., Li, X., Yuan, Y. (2020). Mitigation effect of sodium alginate on acrylamide formation in fried potato chips system based on response surface methodology // *Journal of Food Science*. 85. 8. 2615-2621. DOI 10.1111/1750-3841.15343.
- Nevalennaya, A.A., Dolganova, N.V. (2017). Comparative analysis of the organoleptic characteristics of diet chips prepared using a new technology // *Technology and commodity science of innovative food products*. 3 (44). 61-65. (In Russ.).
- Baharinikoo, L., Chaichi, M., Ganjali, M. (2020). Detecting the amount of acrylamide in potato chips using cdte surface functionalized quantum dots by fluorescence spectroscopy. *Zurnal prikladnoj spektroskopii*. 87. 3. 439-447.
- Ermosh, L.G., Prisukhina, N.V., Fadeev, K.A. (2021). The use of juice production waste for the recipe composition of berry and vegetable chips // *Bulletin of KrasGAU*. 6 (171). 163-169. (In Russ.).
- Gurinovich, G.V., Ivanov, I.V., Kudryashov, L.S. (2014). New technology of chips from white poultry meat // *Meat industry*. 2. 18-20. (In Russ.).
- Kyriacou, M.C., Roupheal, Y. (2018). Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables // *Scientia Horticulturae*. 234, 463-469.
- Milczarek, R.R. [et al.]. (2020). Physical, microbial and chemical quality of hot air dried persimmon chips (Diospyros kaki) during storage. *Journal of Food Quality*. 20. P. 20.
- TR CU 029/2012 Safety requirements for food additives, flavors and technological aids [Electronic resource]. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/902359401>. (In Russ.).
- Uniform sanitary and epidemiological and hygienic requirements for products (goods) subject to sanitary and epidemiological supervision (control). [Electronic resource]. Access mode: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/tenreg/depsanmer/sanmeri/Pages/P2_299.aspx. (In Russ.).
- Hartley, I., Keast, R. & Liem, D. (2018). Physical activity-equivalent label reduces consumption of discretionary snack foods. *Public Health Nutrition* 21(8). 1435-1443. DOI: 10.1017/S1368980018000228.
- WHO calls on all countries to ban or limit the use of trans fats in food [Electronic resource]. Access mode: <https://news.un.org/ru/story/2020/09/1385392>.
- Guidelines for children's nutrition and physical activity [Electronic resource]. Access mode: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/334380/WHO-EURO-2020-1115-40861-55277-eng.pdf>.

Information about the author

I.Yu. Reznichenko - Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Biotechnology and Food Production.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.8.03

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.011



ЭФФЕКТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО И ПОТЕРИ ГРУШ ПРИ ХРАНЕНИИ

Татьяна Викторовна Першакова¹, Григорий Анатольевич Купин²,
Татьяна Викторовна Яковлева³, Владимир Николаевич Алёшин⁴

^{1, 2, 3, 4} «Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия

¹ 7999997@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

² griga_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>

³ Yakovleva_YY@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8411-8422>

⁴ alyoshinvn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2956-3857>

Аннотация. Груши – хорошо известный и распространённый вид фруктов, однако потери при их хранении могут достигать от 20 до 60 % собранного урожая. Это делает актуальным проведение исследований, направленных на повышение эффективности способов их хранения. В ходе исследования было изучено влияния обработок биопрепаратом Витаплан, электромагнитными полями крайне низких частот и ультрафиолетовым излучением на качество, потери и изменение химического состава груш сортов Дево и Бере Гарди при хранении. Оценка органолептических показателей обработанных различными способами груш по категориям «Вкус», «Запах», «Состояние мякоти», «Побурение мякоти» и «Увядание» показала возможность применения этих видов обработки для сохранения качества. Так, при хранении груш при температуре 5 ± 1 °С в течение 75 суток среднее суммарное количество баллов обработанных образцов было на 0,9–3,0 % выше, чем у контрольных образцов. При хранении груш при температуре 25 ± 1 °С (провоцирующие условия) в течение 14 суток среднее суммарное количество баллов обработанных образцов было на 0,8–7,6 % выше, чем у контрольных образцов. При этом в большинстве случаев наибольшей эффективностью обладала обработка биопрепаратом Витаплан. Величина общих потерь в обработанных образцах груш после хранения по сравнению с контролем была ниже на 0,2–8,3 % в зависимости от сорта и параметров хранения. Изучение химического состава объектов исследования показало, что выбранные виды обработки позволяют также сократить потери биологически активных веществ. В частности, потери витамина С были ниже на 1,4–8,5 %, витамина Р – на 1,2–7,4 %. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования существующих способов хранения груш.

Ключевые слова: груши, Дево, Бере Гарди, Витаплан, электромагнитные поля, крайне низкая частота, ультрафиолетовое излучение, потери, витамины, органолептические показатели.

Благодарности: Работа проведена по заказу Министерства сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края (государственный контракт № 43 от 12.05.2021).

Для цитирования: Эффект биологической и физической обработки на качество и потери груш при хранении / Т. В. Першакова [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 83–91. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.011. EDN: <https://elibrary.ru/RXBOSJ>.

Original article

EFFECT OF BIOLOGICAL AND PHYSICAL TREATMENT ON QUALITY AND LOSS OF PEARS DURING STORAGE

Tatiana V. Pershakova¹, Grigoriy A. Kupin², Tatiana V. Yakovleva³, Vladimir N. Aleshin⁴

^{1, 2, 3, 4} Krasnodar Research Institute of Agricultural Products Storage and Processing – branch of FSBSI “North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viniculture, Winemaking”, Krasnodar, Russia

¹ 7999997@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

² griga_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>

³ Yakovleva_YY@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8411-8422>

⁴ alyoshinvn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2956-3857>

Abstract. Pears are a well-known and widespread type of fruit, but losses during storage can reach from 20 to 60% of the harvested crop. This makes it relevant to conduct research aimed at improving the efficiency of their storage methods. In the course of the study, the effects of treatments with the biological pesticide Vitaplan, electromagnetic fields of extremely low frequencies and ultraviolet radiation on the quality, loss and change in the chemical composition of pears varieties Devo and BereGardy during storage were studied. Evaluation of the organoleptic indicators of pears treated in various ways in the categories "Taste", "Smell", "State of the pulp", "Flesh browning" and "Wilting" showed the possibility of using these types of treatment to maintain quality. So, when storing pears at a temperature of 5 ± 1 °C for 75 days, the average total score of the treated samples was 0.9-3.0% higher than that of the control samples. When storing pears at a temperature of 25 ± 1 °C (provocative conditions) for 14 days, the average total score of the treated samples was 0.8-7.6% higher than that of the control samples. Along with that, in most cases, the treatment with the biological pesticide Vitaplan was the most effective. The value of the total losses in the treated samples of pears after storage compared with the control was lower by 0.2-8.3%, depending on the variety and storage parameters. The assessment of the chemical composition of the objects of study showed that the chosen types of treatment also make it possible to reduce the loss of biologically active substances. In particular, the loss of vitamin C was lower by 1.4-8.5%, vitamin P – by 1.2-7.4%. The data obtained can be used to improve existing methods for storing pears.

Keywords: pears, Devo, BereGardy, Vitaplan, electromagnetic fields, extremely low frequencies, ultraviolet radiation, losses, vitamins, organoleptic indicators.

Acknowledgements: The work was carried out by order of the Ministry of Agriculture and Processing Industry of the Krasnodar Territory (state contract No. 43 dated May 12, 2021).

For citation: Pershakova, T.V., Kupin, G.A., Yakovleva, T.V. & Aleshin, V.N. (2023). Effect of biological and physical treatment on quality and loss of pears during storage. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 83-91. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.011. <https://elibrary.ru/RXBOSJ>.

ВВЕДЕНИЕ

Груши – хорошо известный вид фруктов, широко используемый в свежем, сушёном или консервированном виде, а также в качестве сырья для получения сока и алкогольных напитков [1]. По оценкам ФАО, в 2021 году в мире валовые сборы груш составили 25,66 млн. т (2,82 % от общих сборов основных фруктовых культур). В Российской Федерации при этом данный показатель был сравнительно небольшими – 79,1 тыс. т (1,20 % от общих сборов основных фруктовых культур), но необходимо учитывать, что он постепенно увеличивается: сборы в 2021 году были на 49,25 % больше, чем в 2011 году, и на

75,78 % больше, чем в 2001 году [2]. К тому же значительное количество груш в РФ импортируется: по данным ФТС России, импорт в 2021 году составил 225,65 тыс. т [3].

Основной способ хранения груш – при пониженной температуре (минус 1...0 °C) и высокой относительной влажности воздуха (90...95 %) – позволяет минимизировать потери и сохранить товарное качество в течение 3–6 месяцев в зависимости от сорта. Хранение в регулируемой атмосфере (0–3 % CO₂, 1–3 % O₂) и обработка ингибитором этилена (1-метилциклопропеном) также дают отличный результат и позволяют увеличить срок хранения до 4–8 месяцев. Однако для

ЭФФЕКТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО И ПОТЕРИ ГРУШ ПРИ ХРАНЕНИИ

поддержания таких режимов требуется наличие специального дорогостоящего оборудования, так что на практике условия хранения могут отличаться от оптимальных, и в некоторых случаях суммарные потери могут достигать от 20 до 60 % собранного урожая [4].

Одной из основных причин потерь является микробиологическая порча. Повысить устойчивость груш при хранении позволяет обработка синтетическими пестицидами, но их применение становится в последние годы всё более нежелательным из-за опасности для здоровья людей, загрязнения окружающей среды и появления устойчивости у фитопатогенных микроорганизмов [5].

В связи с этим в настоящее время многие исследователи ищут возможность усовершенствовать существующие или разработать новые, экологически безопасные и недорогие технологии хранения груш, равно как и других видов фруктов, ягод и овощей [6, 7].

Например, одним из перспективных способов защиты растительного сырья от послеуборочной порчи считается биологический контроль: обработка объектов хранения микроорганизмами, безвредными для фруктов и овощей и повышающими их устойчивость при хранении. Так, в работе [8] была изучена способность двух видов микроорганизмов (*Pichia membranifaciens* и *Vishniacozyma victoriae*) защищать груши от заболеваний, вызываемых фитопатогенами *Penicillium expansum* и *Botrytis cinerea*. Было установлено, что микроорганизмы-антагонисты успешно колонизировали поверхность груш и в течение 90 дней хранения подавляли развитие порчи на 78–100 % в зависимости от сорта.

Другим активно изучаемым направлением защиты растительного сырья от послеуборочной порчи является физическая обработка, среди разнообразных вариантов которой можно выделить, например, ультрафиолетовое (УФ) излучение и электромагнитные поля (ЭМП) той или иной длины волны. Так, в работе [9] было показано, что обработка УФ излучением позволяет подавлять развитие на грушах сорта Korla фитопатогена *Alternaria alternata*. А в работах [10, 11] было установлено, что обработка персиков и нектаринов электромагнитным излучением микроволнового и радиочастотного диапазонов значительно снижала их поражаемость монилиозом при хранении, хотя это и приводило к некоторому снижению товарного качества.

При обработке растительного сырья различными способами необходимо также учитывать, что это может оказывать влияние на химический состав. Например, в работе

[12] было установлено, что обработка яблок импульсным электрическим полем с различными параметрами сопровождалась увеличением содержания полифенольных веществ.

Целью данного исследования являлось изучение влияния обработок биопрепаратом Витаплан, электромагнитными полями крайне низких частот (ЭМП КНЧ) и ультрафиолетовым излучением на органолептические показатели, потери и химический состав груш при хранении.

МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали груши сортов Дево и Бере Гарди, выращенные в ОАО «Сад Гигант» (Краснодарский край). Фотографии исследуемых образцов груш приведены на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 – Образцы груш сорта Дево
Figure 1 – Samples of pears of the Devo variety

Для обработки использовали содержащий бактерии *Bacillus subtilis* (штаммы ВКМ В-2604 D и ВКМ В-2605 D) биопрепарат Витаплан СП.

На первом этапе проводилась оценка динамики органолептических показателей груш, обработанных различными способами (биопрепаратом Витаплан, ЭМП КНЧ и УФ) и хранившихся в разных условиях: при температуре 5 ± 1 °С и относительной влажности воздуха 75 ± 3 % в течение 75 суток, а также в «провоцирующих условиях» – при температуре 25 ± 1 °С и относительной влажности воздуха 75 ± 3 %, в течение 14 суток.

Обработка груш проводилась следующим образом:

- опрыскивание водным раствором биопрепарата Витаплан (концентрация 1×10^8 КОЕ/мл) в сочетании с цитратом натрия (концентрация 1 %; применяется для стаби-

лизации значения pH среды на нейтральном уровне, оптимальном для развития бактерий (*Bacillus subtilis*) с расходом 5 мл/кг, затем высушивание при температуре 20 ± 2 °С;

- обработка ЭМП КНЧ на лабораторной экспериментальной установке с параметрами 30 Гц и 6 мТл в течение 15 мин;

- обработка ультрафиолетовой лампой (253,7 нм, 50 Гц, облучённость на расстоянии 0,3 м – $0,25$ Вт/м²) в течение 3 мин.

Контрольные образцы обработке не подвергали.



Рисунок 2 – Образцы груш сорта Бере Гарди

Figure 2 – Samples of Bere Gardi pears

Оценка органолептических показателей проводилась с применением балльной шкалы по показателям: вкус, запах, состояние мякоти, побурение мякоти и увядание [13].

На следующих этапах исследования было также изучено влияние различных обработок на потери при хранении и изменение химического состава.

При определении товарного качества груш руководствовались требованиями ГОСТ 33499.

Массовую долю сухих веществ определяли термогравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ 28561, общих сахаров – феррицианидным методом [14], титруемых кислот – по ГОСТ ISO 750, витамина С – ускоренным методом по А.И. Ермакову [15], витамина Р – по методике, описанной в работе [16].

Повторность проведения исследований – трёхкратная. Для обработки полученных данных применяли программы Microsoft Excel и Statistica с использованием однофакторного дисперсионного анализа (= 95 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе проводилась оценка динамики органолептических показателей груш, обработанных различными способами и хранившихся в разных условиях. Оценивались показатели «Вкус», «Запах», «Состояние мякоти», «Побурение мякоти» и «Увядание». Последний показатель оценивался только для образцов, хранившихся при температуре 25 ± 1 °С, так как в условиях охлаждения признаков увядания в течение исследуемого периода не наблюдалось.

Балльная оценка (среднее значение) исследуемых образцов груш, хранившихся 75 суток при температуре 5 ± 1 °С, приведена в таблице 1.

Балльная оценка (среднее значение) исследуемых образцов груш, хранившихся 14 суток при температуре 25 ± 1 °С, приведена в таблице 2.

Из данных, представленных в таблицах 1 и 2, следует, что при хранении груш сорта Дево в течение 75 суток при температуре 5 ± 1 °С обработанные экземпляры по сравнению с контролем имели примерно равные характеристики по показателю «Вкус» и получили оценку выше на 1,1–2,2 % по показателю «Запах», на 0–2,1 % по показателю «Состояние мякоти» и на 4,4–5,4 % по показателю «Побурение мякоти».

При хранении груш сорта Бере Гарди в течение 75 суток при температуре 5 ± 1 °С обработанные экземпляры по сравнению с контролем также имели примерно равные характеристики по показателю «Вкус» и получили оценку выше на 1,1–5,4 % по показателю «Запах», на 1,1–4,3 % по показателю «Состояние мякоти» и на 2,2–7,8 % по показателю «Побурение мякоти».

При хранении груш сорта Дево в течение 14 суток при температуре 25 ± 1 °С обработанные экземпляры по сравнению с контролем получили оценку выше на 2,7–9,5 % по показателю «Вкус», на 0–7,8 % по показателю «Запах», на 0–3,7 % по показателю «Состояние мякоти», на 1,3–8,0 % по показателю «Побурение мякоти» и на 1,4–5,4 % по показателю «Увядание».

При хранении груш сорта Бере Гарди в течение 14 суток при температуре 25 ± 1 °С обработанные экземпляры по сравнению с контролем получили оценку выше на 0–13,2 % по показателю «Вкус», на 1,3–8,0 % по показателю «Запах», на 0–3,8 % по показателю «Состояние мякоти», на 2,7–8,0 % по показателю «Побурение мякоти» и на 0–5,2 % по показателю «Увядание».

ЭФФЕКТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО И ПОТЕРИ ГРУШ ПРИ ХРАНЕНИИ

Таблица 1 – Балльная оценка груш (среднее значение), хранившихся 75 суток при 5±1 °С

Table 1 – Score of pears (average value) stored for 75 days at 5 ± 1 °С

Сорт	Количество баллов испытываемых образцов			
	Контроль	Биопрепарат	ЭМП КНЧ	УФ
Вкус				
Дево	4,45	4,45	4,45	4,40
Бере Гарди	4,80	4,83	4,78	4,80
Запах				
Дево	4,60	4,70	4,65	4,65
Бере Гарди	4,60	4,85	4,65	4,65
Состояние мякоти				
Дево	4,75	4,85	4,80	4,75
Бере Гарди	4,70	4,90	4,75	4,80
Побурение мякоти				
Дево	4,60	4,85	4,83	4,80
Бере Гарди	4,50	4,85	4,80	4,60

Таблица 2 – Балльная оценка груш (среднее значение), хранившихся 14 суток при 25±1 °С

Table 2 – Score of pears (average value) stored for 14 days at 25 ± 1 °С

Сорт	Количество баллов испытываемых образцов			
	Контроль	Биопрепарат	ЭМП КНЧ	УФ
Вкус				
Дево	3,70	4,05	3,88	3,80
Бере Гарди	3,80	4,30	4,15	3,80
Запах				
Дево	3,85	4,15	3,85	3,90
Бере Гарди	3,75	4,05	3,80	3,80
Состояние мякоти				
Дево	4,05	4,20	4,05	4,05
Бере Гарди	3,95	4,10	4,00	3,95
Побурение мякоти				
Дево	3,75	4,05	3,95	3,80
Бере Гарди	3,75	4,05	3,90	3,85
Увядание				
Дево	3,70	3,90	3,75	3,75
Бере Гарди	3,85	4,05	3,90	3,85

В таблице 3 приведены показатели балльной оценки образцов груш (суммарный средний балл по двум сортам), обработанных исследуемыми способами, с учётом коэффициента весомости.

При хранении груш при температуре 5±1 °С в течение 75 суток среднее суммарное количество баллов обработанных образцов было на 0,9–3,0 % выше, чем у контрольных образцов. При хранении груш при температуре 25±1 °С в течение 14 суток среднее суммарное количество баллов обработанных образцов было на 0,8–7,6 % выше, чем у контрольных образцов. При этом обработка биопрепаратом в большинстве случаев оказывала наибольшее положительное действие на органолептические показатели при хранении при обеих температурах.

На следующем этапе изучали влияние обработки груш перед хранением на величину потерь. В таблице 4 приведены данные по количественным потерям в результате естественной убыли и микробиологической порчи в зависимости от сортовых особенностей и способов предварительной обработки.

При хранении груш при 5±1 °С в течение 75 суток потери от микробиологической порчи отсутствовали, то есть общие потери сводились лишь к потерям от естественной убыли массы. При этом величина потерь варьировалась в зависимости от способа обработки и сортовых особенностей: в обработанных образцах груш сорта Дево после хранения по сравнению с контролем потери были ниже на 1,1–2,0 %, а сорта Бере Гарди – на 0,2–1,7 %.

Таблица 3 – Балльная оценка показателей груш с учётом коэффициентов весомости (суммарный средний балл по двум сортам)

Table 3 – Point evaluation of the indicators of pears, taking into account the weighting coefficients (cumulative average score for two varieties)

Показатель	Коэффициент весомости показателя	Суммарное количество баллов испытываемых образцов / с учётом коэффициента весомости			
		Контроль	Биопрепарат	ЭМП КНЧ	УФ
через 75 суток хранения при температуре 5±1 °С					
Вкус	0,30	4,63/1,39	4,64/1,39	4,62/1,39	4,60/1,38
Запах	0,20	4,60/0,92	4,78/0,96	4,65/0,93	4,65/0,93
Состояние мякоти	0,30	4,73/1,42	4,88/1,46	4,78/1,43	4,78/1,43
Побурение мякоти	0,20	4,55/0,91	4,85/0,97	4,82/0,96	4,70/0,94
Суммарный показатель	1,00	4,64	4,78	4,71	4,68
через 14 суток хранения при температуре 25±1 °С					
Вкус	0,25	3,75/0,94	4,18/1,05	4,02/1,01	3,80/0,95
Запах	0,15	3,80/0,57	4,10/0,62	3,83/0,57	3,85/0,58
Состояние мякоти	0,2	4,00/0,80	4,15/0,83	4,03/0,81	4,0/0,80
Побурение мякоти	0,15	3,75/0,56	4,05/0,61	3,93/0,59	3,83/0,57
Увядание	0,25	3,78/0,95	3,98/1,0	3,83/0,96	3,80/0,95
Суммарный показатель	1,00	3,82	4,11	3,94	3,85

Таблица 4 – Потери груш при хранении в зависимости от варианта обработки

Table 4 – Pear losses during storage, depending on the processing option

Наименование сорта / вариант обработки		Общие потери, %	Естественная убыль массы, %	Потери в результате микробиологической порчи
75 суток хранения при температуре 5±1 °С				
Дево	контроль	5,2±0,3	5,2±0,3	отсутствие
	биопрепарат	3,2±0,2	3,2±0,2	отсутствие
	ЭМП КНЧ	3,9±0,2	3,9±0,2	отсутствие
	УФ	4,1±0,2	4,1±0,2	отсутствие
Бере Гарди	контроль	4,9±0,2	4,9±0,2	отсутствие
	биопрепарат	3,2±0,2	3,2±0,2	отсутствие
	ЭМП КНЧ	3,5±0,2	3,5±0,2	отсутствие
	УФ	4,7±0,2	4,7±0,2	отсутствие
14 суток хранения при температуре 25±1 °С				
Дево	контроль	21,1±1,0	11,3±0,5	9,8±0,5
	биопрепарат	12,8±0,6	8,6±0,4	4,2±0,2
	ЭМП КНЧ	17,0±0,8	10,6±0,5	6,4±0,3
	УФ	17,3±0,8	10,1±0,5	7,2±0,4
Бере Гарди	контроль	18,1±0,9	9,3±0,4	8,8±0,4
	биопрепарат	10,3±0,5	6,1±0,3	4,2±0,2
	ЭМП КНЧ	15,7±0,7	8,4±0,4	7,3±0,3
	УФ	16,9±0,8	8,8±0,4	8,1±0,4

Общие потери груш при хранении при температуре 25±1 °С были представлены потерями как от естественной убыли массы, так и от микробиологической порчи. Все изученные типы обработок приводили к сокращению общих потерь в большей или меньшей степени. Величина общих потерь в образцах после хранения по сравнению с контролем ниже:

- для груш сорта Дево после обработки биопрепаратом – на 8,3 %, ЭМП КНЧ – на 4,1 %, УФ – на 3,8 %;

- для груш сорта Бере Гарди после обработки биопрепаратом – на 7,8 %, ЭМП КНЧ – на 2,4 %, УФ – на 1,2 %.

На заключительном этапе исследовали динамику биохимических показателей качества груш в зависимости от способа обработки через 75 суток хранения при температуре 5±1 °С. Полученные результаты представлены в таблице 5.

Исходное содержание сухих веществ в грушах сорта Дево составляло 13,2 %. Через 75 суток хранения в контрольных образцах

ЭФФЕКТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО И ПОТЕРИ ГРУШ ПРИ ХРАНЕНИИ

(без обработки) оно возросло на 0,9 %, а в образцах, обработанных биопрепаратом – на 0,5 %, ЭМП КНЧ – на 0,7 %, УФ – на 0,8 %.

Исходное содержание сухих веществ в грушах сорта Бере Гарди составляло 14,7 %. Через 75 суток хранения в контрольных образцах данный показатель возрос на 0,8 %, а в образцах, обработанных биопрепаратом – на 0,4 %, ЭМП КНЧ – на 0,7 %, УФ – на 0,6 %.

Полученные результаты можно объяснить тем, что содержание сухих веществ динамично изменяется в процессе хранения. С одной стороны, биохимические процессы, протекающие при хранении, способствуют расходу сухих веществ, с другой стороны, испарение влаги в процессе хранения приводит к тому, что относительное содержание сухих веществ увеличивается.

В частности, содержание общих сахаров увеличилось при хранении по сравнению с исходным значением следующим образом: для сорта Дево в контрольных образцах оно возросло через 75 суток хранения на 0,6 %, а в образцах, обработанных биопрепаратом – на 0,1 %, ЭМП КНЧ – на 0,3 %, УФ – на 0,5 %; для сорта Бере Гарди в контрольных образцах оно возросло на 0,8 %, а в образцах, обработанных биопрепаратом – на 0,4 %, ЭМП КНЧ и УФ – на 0,7 %.

У исследуемых сортов груш в процессе хранения происходило снижение содержания органических кислот независимо от способа хранения. Через 75 суток хранения в контрольных образцах общая кислотность у сорта Дево снизилась на 0,05 %, а в образцах, обработанных биопрепаратом – на 0,01 %, ЭМП КНЧ – на 0,03 %, УФ – на 0,04 %. У сорта Бере Гарди в контрольных образцах данный показатель снизился на 0,05 %, а в образцах, обработанных биопрепаратом – на 0,04 %, ЭМП КНЧ – на 0,03 %, УФ – на 0,03 %.

Таблица 5 – Изменение биохимических показателей качества груш через 75 суток хранения при температуре 5 ± 1 °C

Table 5 – Change in biochemical quality indicators of pears after 75 days of storage at a temperature of 5 ± 1 °C

Наименование сорта / вариант обработки		Наименование показателя / массовая доля, %			Витамины, мг/100 г	
		сухие вещества	общая кислотность	общие сахара	С	Р
Дево	исходное содержание	13,2±0,5	0,29±0,02	8,2±0,4	5,2±0,3	52,4±2,5
	контроль	14,1±0,6	0,24±0,02	8,8±0,4	4,7±0,2	49,1±2,3
	биопрепарат	13,7±0,5	0,28±0,02	8,3±0,4	5,0±0,3	52,1±2,5
	ЭМП КНЧ	13,9±0,6	0,26±0,02	8,5±0,4	4,9±0,2	51,2±2,4
	УФ	14,0±0,6	0,25±0,02	8,7±0,4	4,8±0,2	50,4±2,4
Бере Гарди	исходное содержание	14,7±0,6	0,34±0,02	9,3±0,4	7,1±0,4	63,7±3,1
	контроль	15,5±0,7	0,29±0,02	10,1±0,5	6,2±0,3	54,9±2,6
	биопрепарат	15,1±0,7	0,30±0,02	9,7±0,5	6,8±0,3	59,6±2,8
	ЭМП КНЧ	15,4±0,7	0,31±0,02	10,0±0,5	6,4±0,3	56,8±2,7
	УФ	15,3±0,7	0,31±0,02	10,0±0,5	6,3±0,3	55,7±2,6

Что касается витаминов, то через 75 суток хранения груш сорта Дево содержание витамина С по сравнению с контролем было выше в образцах, обработанных биопрепаратом, на 0,3 мг/100 г, ЭМП КНЧ – на 0,2 мг/100 г, УФ – на 0,1 мг/100 г. Для груш сорта Бере Гарди содержание витамина С по сравнению с контролем было выше в образцах, обработанных биопрепаратом, на 0,6 мг/100 г, ЭМП КНЧ – на 0,2 мг/100 г, УФ – на 0,1 мг/100 г.

Содержание витамина Р по сравнению с контролем для сорта Дево было выше в образцах, обработанных биопрепаратом, на 3 мг/100 г, ЭМП КНЧ – на 2,1 мг/100 г, УФ – на 1,3 мг/100 г. Для груш сорта Бере Гарди по сравнению с контролем содержание витамина Р было выше в образцах, обработанных биопрепаратом, на 4,7 мг/100 г, ЭМП КНЧ – на 1,9 мг/100 г, УФ – на 0,8 мг/100 г.

Таким образом, было установлено, что рассмотренные способы обработки груш оказывают влияние на динамику биохимических показателей в процессе хранения.

Следует заметить, что в проведённых нами ранее исследованиях с другими видами сырья были получены, в общем, схожие результаты. Так, в работе [17] было установлено, что биопрепарат Витаплан и ЭМП КНЧ позволяют повысить устойчивость яблок сорта Айдаред к микробиологической порче при хранении, а в работе [18] – что обработка Витапланом, ЭМП КНЧ и ультрафиолетовым излучением позволяет повысить устойчивость ягод земляники при хранении. Другими авторами, изучающими физико-биологические методы защиты для повышения сохранности и качества растительного сырья, также было отмечено, что обработка низкочастотными ЭМП даёт возможность снизить микробиальную обсеменённость яблок и потери витамина С при хранении [19].

ВЫВОДЫ

В ходе исследования было изучено влияние обработок биопрепаратом Витаплан, электромагнитными полями крайне низких частот и ультрафиолетовым излучением на качество, потери и изменение химического состава груш сортов Дево и Бере Гарди при хранении.

Оценка органолептических показателей обработанных различными способами груш по категориям «Вкус», «Запах», «Состояние мякоти», «Побурение мякоти» и «Увядание» показала возможность применения этих видов обработки для сохранения качества. Так, при хранении груш при температуре 5 ± 1 °C в течение 75 суток среднее суммарное количество баллов обработанных образцов было на 0,9–3,0 % выше, чем у контрольных образцов. При хранении груш при температуре 25 ± 1 °C (провоцирующие условия) в течение 14 суток среднее суммарное количество баллов обработанных образцов было на 0,8–7,6 % выше, чем у контрольных образцов. При этом в большинстве случаев наибольшей эффективностью обладала обработка биопрепаратом Витаплан.

Величина общих потерь в обработанных образцах груш после хранения по сравнению с контролем была ниже на 0,2–8,3 % в зависимости от сорта и параметров хранения.

Изучение химического состава объектов исследования показало, что выбранные виды обработки позволяют также сократить потери биологически активных веществ. В частности, потери витамина С были ниже на 1,4–8,5 %, витамина Р – на 1,2–7,4 %.

Полученные данные могут быть использованы для совершенствования существующих способов хранения груш.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Присухина Н.В., Непомнящих Е.Н., Ермош Л.Г. Исследование показателей мелкоплодной груши Сибири для дальнейшего применения в кондитерской отрасли // Ползуновский вестник. 2020. № 4. С. 26–30. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.005.
2. FAOSTAT : официальный сайт. URL : <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (дата обращения 10.01.2023).
3. Таможенная статистика внешней торговли РФ : официальный сайт. URL : <http://stat.customs.gov.ru/> (дата обращения 10.01.2023).
4. Antifungal effects of low environmental risk compounds on development of pear postharvest diseases: Orchard and postharvest applications / M.C. Lutz [et al.] // Scientia Horticulturae. V. 295. 2022. 110862. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110862.
5. Detection of Botrytis cinerea field isolates with multiple fungicide resistance from table grape in Sicily / A. Panebianco [et al.] // Crop Protection. V. 77. 2015. pp. 65–73. DOI:10.1016/j.cropro.2015.07.010.
6. Induced resistance to control postharvest decay

of fruit and vegetables / G. Romanazzi [et al.] // Postharvest Biology and Technology. 2016. № 122. pp. 82–94. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.08.003.

7. Recent advances in postharvest technology of Asia pears fungi disease control: A review / W. Oyom [et al.] // Physiological and Molecular Plant Pathology. V. 117. 2022. 101771. DOI: 10.1016/j.pmpp.2021.101771.

8. Semi-commercial testing of regional yeasts selected from North Patagonia Argentina for the biocontrol of pear postharvest decays / M.C. Lutz [et al.] // Biological Control. V. 150. 2020. 104246. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104246.

9. Postharvest UV-C irradiation inhibits blackhead disease by inducing disease resistance and reducing mycotoxin production in 'Korla' fragrant pear (*Pyrussinkiangensis*) / T. Sun [et al.] // International Journal of Food Microbiology. V. 362. 2022. 109485. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109485.

10. Improvement of microwave treatment with immersion of fruit in water to control brown rot in stone fruit / M. Sisquella [et al.] // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2014. № 26. pp. 168–175. DOI: 10.1016/j.ifset.2014.06.010.

11. Effect of host and Moniliaspp: variables on the efficacy of radio frequency treatment on peaches / M. Sisquella [et al.] // Postharvest Biology and Technology. 2014. № 87. pp. 6–12. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.07.042.

12. Enhancing hydroxycinnamic acids and flavan-3-ol contents by pulsed electric fields without affecting quality attributes of apple / A. Ribas-Agustí [et al.] // Food Research International. 2019. № 121. pp. 433–440. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.11.057.

13. Николаева М.А. Товароведение плодов и овощей. М. : Экономика, 1990. 288 с.

14. Бурштейн А.И. Методы исследования пищевых продуктов. К. : Госмедиздат УССР, 1963. 643 с.

15. Методы биохимического исследования растений : учебник / А.И. Ермаков [и др.]. 3-е изд., перераб. и доп. Л. : Агропромиздат, 1987. 430 с.

16. Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений : учеб. пособие для биологических специальностей университетов. М. : «Высшая школа», 1974. 75 с.

17. Influence of electromagnetic fields and microbial pesticide Vitaplan on stability of apples during storage / T.V. Pershakova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Т. 640. 022053. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022053.

18. Влияние вида обработки на показатели товарного качества и срок хранения ягод земляники / Т.В. Першакова [и др.] // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2022. № 4 (388). С. 51–55. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.4.9.

19. Разработка физико-биологических методов защиты для повышения сохранности и качества яблок / М.Д. Назарько [и др.] // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2019. № 5–6 (371–372). С. 53–57. DOI: 10.26297/0579-3009.2019.5-6.14.

Информация об авторах

Т. В. Першакова – д-р тех. н., доцент, ведущий научный сотрудник отдела хранения и ком-

ЭФФЕКТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО И ПОТЕРИ ГРУШ ПРИ ХРАНЕНИИ

плексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ;

Г. А. Купин – к. тех. н., старший научный сотрудник отдела хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ;

Т. В. Яковлева – к. тех. н., доцент, старший научный сотрудник отдела хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ;

В. Н. Алёшин – к. тех. н., старший научный сотрудник отдела хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ.

REFERENCES

1. Prasukhina, N.V., Nepomnyashchikh, E.N. & Ermosh, L.G. (2020). Study of indicators of small-fruited pears of Siberia for further use in the confectionery industry. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 26-30. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.005.
2. FAOSTAT : official website. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
3. Customs statistics of foreign trade of the Russian Federation : official website. URL : <http://stat.customs.gov.ru>.
4. Lutz, M.C. [et al.]. (2022). Antifungal effects of low environmental risk compounds on development of pear postharvest diseases: Orchard and postharvest applications. *Scientia Horticulturae*, (295), 110862. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110862.
5. Panebianco, A. [et al.]. (2015). Detection of Botrytis cinerea field isolates with multiple fungicide resistance from table grape in Sicily. *Crop Protection*, (77), 65-73. DOI: 10.1016/j.cropro.2015.07.010.
6. Romanazzi, G. [et al.]. (2016). Induced resistance to control postharvest decay of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, (122), 82-94. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.08.003.
7. Oyom, W. [et al.]. (2022). Recent advances in postharvest technology of Asia pears fungi disease control: A review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, (117), 101771. DOI: 10.1016/j.pmpp.2021.101771.
8. Lutz, M.C. [et al.]. (2020). Semi-commercial testing of regional yeasts selected from North Patagonia Argentina for the biocontrol of pear postharvest decays. *Biological Control*, (150), 104246. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104246.
9. Sun, T. [et al.]. (2022). Postharvest UV-C irradiation inhibits blackhead disease by inducing disease resistance and reducing mycotoxin production in 'Korla' fragrant pear (*Pyrussinkiangensis*). *International Journal of Food Microbiology*, (362), 109485. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109485.
10. Sisquella, M. [et al.]. (2014). Improvement of microwave treatment with immersion of fruit in water

to control brown rot in stone fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, (26), 168-175. DOI: 10.1016/j.ifset.2014.06.010.

11. Sisquella, M. [et al.]. (2014). Effect of host and Moniliasp : variables on the efficacy of radio frequency treatment on peaches. *Postharvest Biology and Technology*, (87), 6-12. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.07.042.

12. Ribas-Agustí, A. [et al.]. (2019). Enhancing hydroxycinnamic acids and flavan-3-ol contents by pulsed electric fields without affecting quality attributes of apple. *Food Research International*, (121), 433-440. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.11.057.

13. Nikolaeva, M.A. *Merchandising of fruits and vegetables*. M. : Ekonomika, 1990. 288 p. (In Russ.).

14. Burshteyn, A.I. *Food Research Methods*. K. : Gosmedizdat USSR, 1963. 643 p. (In Russ.).

15. Ermakov, A.I. [et al.]. *Methods of biochemical research of plants*: Textbook. 3-e izd., pererab. i dop. L. : Agropromizdat, 1987. 430 p. (In Russ.).

16. Zaprometov, M.N. *Fundamentals of the Biochemistry of Phenolic Compounds*: Textbook for Biological Specialties of Universities. M. : «Vysshayashkola», 1974. 75 p. (In Russ.).

17. Pershakova, T.V. [et al.]. (2021). Influence of electromagnetic fields and microbial pesticide Vitaplan on stability of apples during storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (640), 022053. DOI:10.1088/1755-1315/640/2/022053.

18. Pershakova, T.V. [et al.]. (2022). Influence of some treatment types on strawberry losses and shelf life. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya*, (4 (388)), 51-55. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2022.4.9.

19. Nazarko, M.D. [et al.]. (2019). Development of physical and biological methods of protection to improve the safety and quality of apples. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya*, (5-6 (371-372)), 53-57. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2019.5-6.14.

Information about the authors

T.V. Pershakova - Doctor of Technical Sciences, docent, leading researcher, Department of storage and complex processing of agricultural raw materials, KRIAPSP – branch of FSBSI NCFSCHVW;

G A. Kupin - Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Department of storage and complex processing of agricultural raw materials, KRIAPSP - branch of FSBSI NCFSCHVW;

T.V. Yakovleva - Candidate of Technical Sciences, docent, senior researcher, Department of storage and complex processing of agricultural raw materials, KRIAPSP - branch of FSBSI NCFSCHVW;

V.N. Aleshin - Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Department of storage and complex processing of agricultural raw materials, KRIAPSP – branch of FSBSI NCFSCHVW.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.646

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.012

 EDN: VHXPPO

ИДЕНТИФИКАЦИЯ УПАКОВАННЫХ ГЛУБИННЫХ ВОД ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Елена Михайловна Севостьянова ¹, Алексей Александрович Шилкин ²

^{1,2} Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

¹ waterlena@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8307-8329>

² labvin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1223-0703>

Аннотация. Озеро Байкал является крупнейшим в мире хранилищем пресной воды, которая отличается редкой чистотой и стабильностью основного состава. Благодаря своему природному составу байкальская вода, особенно глубинная, может разливаться в бутылки без особой водоподготовки. В настоящее время в России выпускаются несколько торговых марок упакованных глубинных вод с топонимом «Байкал». Настоящая работа посвящена изучению возможности идентификации упакованных глубинных вод озера Байкал на основе комплексного органолептического, физико-химического и изотопного анализов упакованной глубинной воды. Экспериментальная работа проводилась специалистами ВНИИПБиВП с использованием методов высокоэффективной жидкостной хроматографии, газовой хроматографии, инверсионной вольтамперометрии, атомно-абсорбционной спектроскопии, титриметрии, рефрактометрии, масс-спектрометрии. В работе представлены исследования по физико-химическому составу и изотопным характеристикам упакованной воды глубинной из озера Байкал различных торговых марок из двух глубоководных водозаборов озера Байкал. Проведенный сравнительный анализ основных идентификационных показателей упакованных вод показал, что все исследованные воды были сопоставимы и соответствовали маркировке и особым свойствам, заявленным в свидетельстве о месте происхождения товара. Авторы отмечают некоторые неточности в аналитическом определении сульфатов и хлоридов. Показано, что дополнительные идентификационные показатели (биогенные элементы) не могут быть рекомендованы для идентификации упакованной глубинной воды озера Байкал. Изотопные характеристики всех исследованных упакованных вод были достаточно стабильны и коррелировали с изотопными характеристиками вод глубинных водозаборов. Высокая и достаточно стабильная концентрация кислорода в глубинной воде, как в «сырьевой», так и в упакованной, может быть предложена в качестве идентификационного показателя.

Ключевые слова: идентификация, глубинная вода озера Байкал, стандартные образцы, упакованная вода, основной состав, биогенные элементы, изотопные характеристики, особые свойства.

Для цитирования: Севостьянова Е. М., Шилкин А. А. Идентификация упакованных глубинных вод из озера Байкал // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С.92–100. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.012. EDN: <https://elibrary.ru/VHXPPO>.

Original article

IDENTIFICATION OF PACKED DEEP WATER FROM LAKE BAIKAL

Elena M. Sevostianova ¹, Alexey A. Shilkin ²

^{1,2} All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS

¹ waterlena@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8307-8329>

² labvin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1223-0703>

© Севостьянова Е. М., Шилкин А. А., 2023

Abstract. Lake Baikal is the world's largest reservoir of fresh water, which is distinguished by rare purity and stability of the basic composition. Due to its natural composition, Baikal water, especially deep water, can be bottled without special water treatment. Currently, several trademarks of packaged deep waters with the toponym "Baikal" are produced in Russia. This work is devoted to the study of the possibility of identifying the packed deep waters of Lake Baikal on the basis of complex organoleptic, physicochemical, and isotopic analyzes of packed deep water. Experimental work was carried out by VNIIPBiVP specialists using high-performance liquid chromatography, gas chromatography, stripping voltammetry, atomic absorption spectroscopy, titrimetry, refractometry, and mass spectrometry. The paper presents studies on the physicochemical composition and isotopic characteristics of packed deep water from Lake Baikal of various brands from two deep water intakes of Lake Baikal. A comparative analysis of the main identification indicators of packaged waters showed that all the studied waters were comparable and corresponded to the labeling and special properties stated in the certificate of origin. The authors note some inaccuracies in the analytical determination of sulfates and chlorides. It is shown that additional identification indicators (biogenic elements) cannot be recommended for identification of the packed deep water of Lake Baikal. The isotopic characteristics of all the studied packed waters were quite stable and correlated with the isotopic characteristics of the waters of deep water intakes. A high and fairly stable oxygen concentration in deep water, both raw and packaged, can be proposed as an identification indicator.

Keywords: identification, deep water of Lake Baikal, standard sample, packaged water, main composition, biogenic elements, isotopic characteristics, special properties. 8-10 words and phrases, reflect the specifics of the topic, the object and the results of the study.

For citation: Sevostianova, E.M., Shilkin, A.A. Identification of packed deep waters from Lake Baikal *Polzunovskiy vestnik*, (3), 92-100. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.012. <https://elibrary.ru/VHXPAO>.

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Байкал является самым древним (25 млн. лет), самым глубоким (1637 м) и самым крупным (23 тыс. куб. км) пресноводным водоемом Земли. Общий объем содержащейся в Байкале воды составляет 20 % от запасов всей пресной воды планеты, находящейся в ее озерах и реках. В озеро Байкал ежегодно втекает с притоками и вытекает через р. Ангара 60 куб. км воды. Время, в течение которого происходит полное замещение вод Байкала водами притоков, составляет 330 лет. Вода озера Байкал отличается редкой чистотой, и исключительные её свойства обусловлены жизнедеятельностью животного и растительного мира озера. Данные по химическому многоэлементному составу и микробиологическим характеристикам позволяют подтвердить локальный характер загрязнения прибрежных зон акватории Южного Байкала и абсолютную стабильность, и чистоту воды

«ядра» озера Байкал – зоны находящейся на глубине от 300 м от поверхности до 100 метров над дном [1–10].

Основными особенностями глубинной байкальской воды являются постоянство содержания ионов основного состава (катионы – кальций, магний, натрий, калий и анионы – гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды), низкая концентрация биогенных элементов и органического вещества, а также высокое насыщение воды кислородом. Общая минерализация (суммарная концентрация растворенных в воде солей) составляет около 100 мг/л. Многочисленные исследования, проведенные ФГБУН Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, подтверждают постоянство концентрации основного солевого состава по акватории, по глубине и по сезонам года. [11–13]. Средняя концентрация основных ионов в воде глубоководной части озера представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Средняя концентрация основных ионов в воде озера Байкал и погрешность методов определения [1]

Table 1 – The average concentration of basic ions in the water of Lake Baikal and the error of the determination methods [1]

Показатель	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Концентрация, мг/л	16,4±1,6	3,03±0,3	3,34±0,5	1,01±0,2	66,4±4,7	0,4±0,02	5,3±0,3

К биогенным элементам в водах озера Байкал относятся азот, фосфор и кремний, которые поступают с водами притоков и атмосферными осадками. В глубинной зоне концентрации биогенных элементов мало меняются по сезонам, и в разных котловинах озера на одинаковых глубинах их содержание в среднем одинаково. Концентрация нитратов в придонных водах озера достигает 0,6 мг $\text{NO}_3^-/\text{л}$, фосфатов 0,06 мг $\text{PO}_4^{3-}/\text{л}$, кремния 1,6 мг $\text{Si}/\text{л}$ мг/л.

В воде озера Байкал содержание органического вещества небольшое и показатель «перманганатная окисляемость» поверхностного слоя изменяется в пределах 1–1,6 мг $\text{O}/\text{л}$. С глубиной ее величина снижается и в придонной зоне составляет 0,4–0,5 мг $\text{O}/\text{л}$.

Учитывая стабильность состава воды в «ядре» Байкала, учеными-лимнологами для стандартизации гидрохимических исследований предложен стандартный образец (СО) байкальской глубинной воды и технология его приготовления. СО байкальской воды необходим при исследовании озера Байкал, так как различия данных аналитических исследований байкальской воды по отдельным элементам у разных исследователей достигают трех порядков. Несопоставимые, несравнимые данные не дают возможности дать достоверную оценку тенденциям временного изменения состава байкальской воды и роли антропогенных факторов в этом процессе.

В качестве фиксированной точки водозабора для изготовления СО была выбрана точка в заливе Лиственничный, расположенная на глубине 500 м от поверхности, 200 м до дна и на расстоянии 1,7 км от берега. Технология водоподготовки, включающая ступенчатую систему фильтрации и озонирования воды, позволяет сохранить все ее природные качества. Грубая фильтрация удаляет простейшие и зоопланктон, фильтр 1–5 мкм отделяет терригенные взвешенные частицы, а тонкий фильтр 0,45 мкм – мертвые остатки бактериопланктона и пикопланктона. Синергическое действие УФ-излучения и озонирования устраняет цисты водорослей и споры бактерий. Определен химический состав СО байкальской воды по максимально возможному перечню компонентов. СО отражает специфику матричного состава гидрокарбонатных кальциевых вод, к которым относятся воды многих рек и озер мира, а также дождевые и снеговые воды и может существенно помочь в усовершенствовании внутрилабораторного контроля как в России, так и во всем мире [14–15].

Озеро Байкал является крупнейшим в мире хранилищем пресной воды. Ежегодно в Байкале воспроизводится около 60 кубических километров прекрасной и неповторимой по качеству воды, которую можно использовать для производства упакованных вод.

В начале 1990-х гг. Лимнологическим институтом было организовано опытное производство глубинной байкальской питьевой воды, расфасованной в бутылки из полиэтилентерефталата (ПЭТ). Как и для СО водозабор осуществлялся в заливе Лиственничный (п. Листвянка) с глубины 500 м. Для обеспечения высокого качества продукции и возможность хранения воды в течение длительных сроков водоподготовка на этом производстве включала тонкую фильтрацию, в том числе фильтрование через ядерные фильтры с диаметром пор 0,2–0,5 мкм, а затем обработку воды ультрафиолетовым светом и озоном для удаления или нейтрализации не только любых патогенных, но даже безвредных для здоровья человека водных микроорганизмов, так как последние, если они размножатся, могут изменить качество воды при хранении [16–17].

В настоящее время в России выпускаются несколько торговых марок упакованных глубинных вод с топонимом «Байкал»: «Legend of Baikal (Легенда Байкала)», «BAIKAL430 глубинная из озера Байкал», «Байкалика», «Кристалльная глубина 500», «Вода Байкала» и т.д.

Как выявили наши предыдущие исследования, концентрации химических элементов, входящих в солевой состав и минерализация (М) в глубинной воде озера Байкал, воде р. Ангара и водопроводной воде из Иркутского водохранилища были очень похожи, за исключением небольшого превышения хлоридов в водопроводной воде, поэтому проблема идентификации глубинной воды озера Байкал стоит достаточно остро [18–19].

Настоящая работа посвящена изучению возможности идентификации упакованных глубинных вод озера Байкал на основе комплексного органолептического, физико-химического и изотопного анализов упакованной глубинной воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная работа проводилась специалистами направления минеральных и питьевых вод ВНИИПБиВП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН при участии ИЦ ВНИИПБиВП. Качество воды и соответствие установленным нормативам [20, 21] оценивали по органолептическим (прозрач-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2023

ИДЕНТИФИКАЦИЯ УПАКОВАННЫХ ГЛУБИННЫХ ВОД ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ

ность, цвет, вкус и запах) и физико-химическим показателям (основной состав, минерализация, биологически активные компоненты, токсичные металлы). Определение показателей проводили по утвержденным методикам, зарегистрированным в установленном порядке. Для анализа макрокомпонентов и микрокомпонентов применяли объемные и инструментальные методы: высокоэффективной жидкостной хроматографии, газовой хроматографии, инверсионной вольтамперометрии, атомно-абсорбционной спектроскопии, титриметрии, рефрактометрии, масс-спектрометрии.

Аналитические исследования изотопных характеристик воды проводились на изотопном масс-спектрометре Delta V Advantage с модулем Gas Bench II, позволяющим определять изотопные отношения кислорода и водорода в исследуемых образцах в концентрациях от 200 нмоль до 20 ммоль. Метод основан на определении характеристики изотопного состава водорода (аналогично для кислорода) в анализируемой пробе относительно международных стандартных образцов методом масс-спектрометрии стабильных

изотопов, основанном на изотопном уравнивании изотопного состава водорода (кислорода) в виале по отношению к изотопному составу водорода (кислорода) образца. При анализе использовались стандарты воды МАГАТЭ: VSMOW-2, USGS47, SLAP2. В качестве рабочего стандартного образца (PCO) применяли газообразный диоксид углерода (CO₂) высокой степени очистки 99,9999 %, водород (H₂) чистоты 99,999 % а также в качестве газа-носителя гелий (He) высокой степени очистки 99,9999. Помимо этого, также были использованы для изотопного уравнивания смесь газов, состоящая из гелия (чистота 99,9999) и 0,4 % высокоочищенного диоксида углерода, а также другая смесь, состоящая из гелия (чистота 99,9999) и 2 % высокоочищенного водорода.

В данной работе представлены исследования по физико-химическому составу и изотопным характеристикам упакованной воды глубинной из озера Байкал различных торговых марок из двух глубоководных водозаборов озера Байкал в акватории п. Листвянка и п. Сухой Ручей. Объекты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объекты исследования / Table 2 – Research objects

№ п/п	Шифр	Наименование пробы	Дата розлива	Упаковка	Водозабор, глубина
Упакованные природные питьевые воды (глубинные из о. Байкал)					
1.	Образец № 1	Байкальская глубинная БАЙКАЛ 430	2022 г.	ПЭТ 5,0 л	п. Листвянка от берега 1500 м, глубина 430 м
2.	Образец № 2	Legend of Baikal (Легенда Байкала)	2021 г.	ПЭТ 4,9 л	п. Листвянка от берега 1500 м, глубина 400 м
3.	Образец № 3	Байкалика	2021 г.	ПЭТ 5,0 л	п. Сухой Ручей от берега 3000 м, глубина 400 м
Сырьевая вода (глубинные водозаборы)					
4.	Водозабор п. Листвянка		2017–2022	–	от берега 1500 м, глубина 400-430 м
5.	Водозабор п. Сухой ручей		2017	–	от берега 3000 м, глубина 400 м

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с требованиями технического регламента Евразийского экономического союза «О безопасности упакованной питьевой воды, включая природную минеральную воду» ТР ЕАЭС 044/2017 (далее Регламент) первичную идентификацию упакованной воды проводят сравнением наименования и назначения воды, указанными в информации для потребителя (этикетке), с наименованием и назначением, указанным в Регламенте [20]. Проверка идентификационных показателей упакованной воды проводится аналитическим методом путем сравнения показателей основного состава, минерализации и жесткости идентифицируемой во-

ды с соответствующими показателями, указанными на этикетке.

Первичная или ассортиментная идентификация упакованной глубинной воды показала, что исследованные упакованные воды относятся к природным питьевым водам и являются объектом технического регулирования ТР ЕАЭС 044/2017. Маркировка природных питьевых вод содержит топоним «Байкал» в различных вариациях и сведения о месте водозабора (наименование реки, озера или другого водного объекта) – вода из озера Байкал с глубины 400 (430) м., что соответствует требованиям [20] (п.п. 37, 44, 45).

По органолептическим показателям все исследованные воды соответствовали требованиям [20 Приложение № 3].

Проверка идентификационных показателей упакованных вод проводилась аналитическим методом путем сравнения показателей основного состава, минерализации и

жесткости идентифицируемых вод с соответствующими показателями, указанными на этикетке. Результаты определения «основного состава» представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Идентификационные показатели упакованных вод (маркировка/результаты исследований)

Table 3 – Identification indicators of packaged waters (labeling/results of investigations)

Шифр	Основной состав упакованной воды, мг/дм ³ Маркировка/содержание в упакованной воде								
	М, г/дм ³	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Ж, мг-экв/л
Образец № 1	0,05-0,15	1–10	7–50	2–7	0,1–5	0,5–2	50–100	1–12	1–2
	0,1	3,6	16,8	3,1	1,1	0,7	66	5,3	1,13
Образец № 2	0,05-0,15	1–10	10–25	1–10	0,1–2	0,1–10	50–100	1–10	1–2
	0,1	3,2	16,0	3,5	0,99	0,8	66,5	5,2	1,1
Образец № 3	0,06-0,12	3–5	15–25	1–10	0,5–2,5	1–5	60–100	2–6	1–2
	0,11	3,3	17,4	3,4	0,98	2,4	67,1	14,2	1,3

Проведенными исследованиями установлено, что все исследованные пробы упакованной глубинной байкальской воды характеризовались близкой минерализацией около 100 мг/дм³ и схожим макрокомпонентным составом, соответствующим средним концентрациям основных ионов в воде озера Байкал, установленным по многолетним наблюдениям, за исключением концентрации хлоридов и сульфатов. Во всех исследованных пробах упакованной воды хлориды были обнаружены в концентрации 0,7–2,4 мг/дм³, что превышает установленную среднюю концентрацию 0,4 мг/дм³ в 2–8 раз. Сульфаты превышали установленную среднюю концентрацию только в образце № 3 в 2,8 раза. Вместе с тем, все исследованные пробы упакованной воды соответствовали по идентификационным показателям (основной состав, минерализация и жесткость) соответствовали данным указанным в маркировке, кроме содержания сульфатов в образце № 3. Однозначного ответа на вопрос: «Является ли образец № 3 фальсификатом?» по этим данным нет, так как проведенный балансовый расчет содержания анионов и катионов показал, что в протоколе явно превышены концентрации сульфатов и хлоридов. По данным Грачева М.А. и др., распределение отклонений от среднего для хлоридов, сульфатов и калия, концентрации которых в байкальской воде малы, не подчиняется функции Гаусса и может свидетельствовать о наличии аналитических ошибок [1, 14, 15].

На следующем этапе исследований была проведена оценка упакованных вод на соответствие НМПТ (географическое указание и наименование места происхождения товара). Особые свойства воды, в отношении которой регистри-

руется обозначение «ВОДА ПРИРОДНАЯ ПИТЬЕВАЯ «БАЙКАЛ» ГЛУБИННАЯ» в качестве наименования места происхождения товара (далее – НМПТ) и предоставляется исключительное право на такое наименование, обусловлены особенностями химического состава воды озера Байкал. В качестве особых свойств заявлены макрокомпоненты, определяющие химический тип воды: гидрокарбонаты в концентрации 50–100 мг/л, сульфаты – 1–12 мг/л, хлориды – 1–10 мг/л, кальций – 7–50 мг/л, магний – 1–10 мг/л, натрий 2–7 мг/л), калий – 0,1–2 мг/л), минерализация не более 150 мг/л. Далее в описании особых свойств глубинной воды указаны величина рН в поверхностном слое воды озера Байкал, которая составляет 7,45–8,5 ед. и содержание диоксида углерода – менее 5,0 мг/л., а также концентрация биогенных элементов в придонных водах озера (нитраты 0,1–1,5 мг/л, фосфаты менее 0,01 мг/л, кремний Si – 0,2–1,2 мг/л). Окисляемость воды поверхностного слоя составляет 3 мг О/л. Содержание природного кислорода в озере Байкал – 7–14,5 мг/л.

Проведенный сравнительный анализ идентификационных показателей воды глубинных водозаборов и разливаемых из них упакованных вод показал, что по основным катионам: кальцию, магнию, натрию, калию и анионам гидрокарбонатам и сульфатам, – все исследованные воды были сопоставимы и соответствовали НМПТ, кроме повышенного значения содержания сульфатов в образце № 3. Как описывалось выше, считаем этот результат неточностью метода определения, так как балансовый расчет показал, что концентрация сульфатов в образце № 3 должна была составить ≈ 6,2 6,8 мг/л (таблица 4).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ УПАКОВАННЫХ ГЛУБИННЫХ ВОД ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Таблица 4 – Основной состав упакованных вод и воды глубинных водозаборов

Table 4 – Basic composition of packaged waters and deep water intakes

Исследуемый образец	M, мг/л	Ж, мг-экв/л	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
НМПТ	<150	–	1–10	7–50	2–7	0,1–2	1–10	50–100	1–12
Водозабор п. Листвянка	102,9	1,13	2,8	18,0	3,6	1,0	5,2	67,4	4,9
Образец № 1	102	1,13	3,6	16,8	3,1	1,1	0,7	66,0	5,3
Образец № 2	97	1,06	3,2	16,0	3,5	0,99	0,76	66,5	5,23
Водозабор п. Сухой ручей	97	1,09	3,0	16,7	3,4	0,96	0,73	66,0	6,2
Образец № 3	111	1,14	3,25	17,4	3,39	1,0	2,4	67,1	14,2

По содержанию хлоридов образцы упакованных вод № 1 и № 2 и вода водозабора в п. Сухой ручей не соответствовали нормам НМПТ, так как концентрация хлоридов определялась на уровне < 1 мг/л, что меньше нижней границы нормы НМПТ. По данным ученых лимнологического института [18], проведенный анализ химического состава воды

глубинных разрезов в акватории посёлков Южного Байкала (г. Байкальска, п. Култук, п. Листвянка и п. Сухой Ручей) показал особую стабильность содержания основных элементов во всех глубинных водозаборах и не зависит от пространственных и сезонных влияний (таблица 5). Концентрация хлоридов была стабильна и определялась на уровне < 1 мг/дм³.

Таблица 5 – Концентрация химических элементов в мг/дм³ в воде из глубинных разрезов (400 м.) оз. Байкал по результатам многоэлементного ИСП-МС анализа (2017 г.)

Table 5 – Concentration of chemical elements in mg/dm³ in water from deep sections (400 m) of the lake. Baikal according to the results of multi-element ISP-MS analysis (2017)

Глубинные водозаборы	M, мг/л	Ж, мг-экв/л	Концентрация химических элементов в мг/дм ³						
			Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
г. Байкальск	97	1,09	3,0	16,7	3,3	0,99	0,69	67,0	5,4
п. Сухой ручей	93	1,05	2,9	16,0	3,1	0,94	0,59	65,2	4,4
п. Култук	92	1,04	2,8	15,9	3,1	0,94	0,62	65,4	3,38
п. Листвянка	93	1,05	2,9	15,9	3,1	0,94	0,6	65,5	4,2

Исследованные изотопные характеристики как «сырьевых» вод глубинных водозаборов, так и упакованной воды глубоинной из озера Байкал, были достаточно стабильны и

сопоставимы (таблица 6). В процессе водоподготовки и транспортировки воды изменений в соотношении изотопов водорода и кислорода не отмечено.

Таблица 6 – Изотопные характеристики упакованных вод и воды глубинных водозаборов

Table 6 – Isotopic characteristics of packed waters and deep water intakes

№ п/п	Наименование образца	Наименование показателя	
		δ ¹⁸ O, ‰	δD, ‰
1.	Водозабор п. Листвянка	-15,34±0,28	-126,08±0,88
2.	Образец 1	-15,41±0,08	-126,01±0,54
3.	Образец 2	-15,39±0,16	-125,35±0,11
4.	Водозабор п. Сухой ручей	-15,37±0,48	-125,32±0,5
5.	Образец 3	-15,31±0,18	-126,16±0,48

Из дополнительных идентификационных показателей заявлены: величина pH и содержание диоксида углерода в поверхностном слое воды озера Байкал, окисляемость поверхностного слоя, а также концентрация биогенных элементов в придонных водах

озера (нитраты, фосфаты и кремний). Водотбор глубоинной воды для производства упакованных вод осуществляется с глубины около 430 м. и упакованная вода не может быть отнесена ни к поверхностному слою, ни к придонному. Установлено, что исследован-

ные упакованные глубинные воды озера Байкал практически не содержат нитритов (менее 0,004 мг/дм³), нитраты определялись в концентрации 0,43–2,6 мг/дм³, фосфаты – 0,03–0,44 мг/дм³ при практическом отсутствии фосфатов в «сырьевой» воде. Следует отметить, что в воде озера Байкал азот в нитритной и аммонийной форме отсутствует или регистрируется в незначительном количестве в поверхностном слое воды в периоды отмирания водорослей.

Содержание в упакованной воде органических и минеральных веществ по показателю «перманганатная окисляемость» колебалось от менее 0,25 мг О/дм³ до 0,99 мг О/дм³, показатель рН – 7,4–7,8 ед.рН, содержание кислорода было достаточно высоким и определялось на уровне 8,9–10,5 мг/дм³.

Проведенный анализ полученных результатов показал, что для упакованных вод дополнительно заявленные показатели не могут использоваться в качестве идентификационных. Так как в процессе производства (розлива) глубинной воды возможно некоторое техногенное загрязнение, а также достаточно большой процент ошибки аналитических измерений, при очень малых концентрациях определяемых веществ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными особенностями химического состава байкальских вод являются постоянство содержания ионов основного состава, низкая концентрация биогенных элементов и органического вещества, а также высокое насыщение воды кислородом. Глубинная вода Байкала по классификации ГОСТ Р 54316 относится к пресным гидрокарбонатным кальциевым водам. Суммарная концентрация растворенных в воде солей составляет около 100 мг/л. Постоянство концентрации ионов основного состава воды в «ядре» озера Байкала по глубине и по сезонам года подтверждается при исследовании Байкала с применением таких методов анализа, как ионная хроматография и плазменная атомноабсорбционная спектрофотометрия.

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что в качестве идентификационных показателей для упакованных глубинных вод озера Байкал могут быть предложены:

- ионы основного солевого состава – кальций, магний, натрий, калий и гидрокарбонаты, хлориды и сульфаты, которые соответствовали информации на этикетке и НМПТ, кроме завышенного значения содержания сульфатов в образце № 3. Завышенные кон-

центрации сульфатов и хлоридов, полученные в результате аналитических исследований методами, разрешенными к применению для подтверждения соответствия ТР ЕАЭС 044/2017 для упакованных вод, можно отнести к погрешностям определения из-за малых концентраций их содержания, что согласуется с литературными данными;

- изотопные характеристики исследованных упакованных вод были достаточно стабильны и коррелировали с изотопными характеристиками вод глубинных водозаборов;

- одна из уникальных особенностей озера Байкал – высокая концентрация кислорода в глубинной воде, которая определялась на уровне 8,9–10,5 мг/дм³ и может быть предложена в качестве идентификационного показателя, вместе с тем необходимы дополнительные исследования изменения концентрации этого показателя в процессе хранения упакованной воды, разлитой в различные виды упаковки (полимерную, стекло или алюминиевую банку);

- концентрации биогенных элементов в центральном ядре водной толщи Байкала, хотя и мало меняются по сезонам, их содержание в среднем одинаково, но определяются в очень незначительных концентрациях, а с учетом значительной погрешности методов определения и возможной контаминации в процессе производства упакованной воды и в настоящее время не могут быть рекомендованы для идентификации упакованной воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачев М.А. О современном состоянии экологической системы озера Байкал. Новосибирск : Изд-во СО РАН. 2002. 156 с.
2. Основные показатели химического состава воды озера Байкал по данным многолетних исследований / В.М. Домышева, М.В. Сакирко, Н.А. Онищук [и др.] // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения : сборник научных трудов: посвящается Году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН, Сочи, 02–07 октября 2017 года / Институт водных проблем Российской академии наук, Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр. Сочи : ООО "Лик", 2017. С. 353–358.
3. Семёнов М.Ю. Показатели условий формирования химического состава речных вод в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. 2017. № 4. С. 170–179. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-4(170–179).
4. Ovchinnikova T.E., Bocharov O.B. Numerical modeling of water exchange processes in Lake Baikal / Journal of Water Resources. 2017. Т. 44. № 3. С. 322–331. DOI: 10.1134/S0097807817030150.
5. Аниканова М.Н. Якунина О.В., Аджиев Р.А. Биогенные элементы в воде озера Байкал / Совре-

менные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод : Материалы научной конференции с международным участием, Ростов-на-Дону, 08–10 сентября 2015 года / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральное Государственное бюджетное учреждение Гидрохимический институт. Том Часть 1. Ростов-на-Дону : Федеральное государственное бюджетное учреждение "Гидрохимический институт", 2015. С. 10–13.

6. Складорова О.А. Распределение микроэлементов в водной толще Среднего Байкала / География и природные ресурсы. 2011. № 1. С. 53–59.

7. Определение микроэлементов в Байкальской воде методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой / В.Н. Эпов, И.Е. Васильева, А.Н. Сутурин [и др.] // Аналитическая химия. 1999. Т. 54. № 11. С. 1170–1175.

8. Seasonal changes of the vertical structure of the water column of the pelagic zone of southern Lake Baikal / Blinov V.V., Granin N.G., Mizandrontsev I.B. [et al.] // Journal of Water Resources. 2017. 44. С. 285–295. DOI: 10.1134/S0097807817030058.

9. Ветров, В.А. Основы мониторинга химического состава воды озера Байкал / Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 55-летию кафедры гидрологии и природопользования ИГУ, Иркутск, 05–07 июля 2019 года. Иркутск : Иркутский государственный университет, 2019. С. 20–35.

10. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал / РАН СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ, Институт геохимии имени А.П. Виноградова. Новосибирск : Изд-во Сибирского отделения РАН, 1997. 234 с. ISBN 5-7692-0035-9.

11. Экспедиционные работы ЛИН СО РАН на озере Байкал в 2019 году / И.А. Асламов, Ю.С. Балин, М.В. Башенхаева [и др.] // Итоги экспедиционных исследований в 2019 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген: Материалы конференции, Москва, 26–27 февраля 2020 года. Севастополь: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН", 2020. С. 166–171.

12. Ионный состав воды озера Байкал, его притоков и истока реки Ангара в современный период / Домышева В.М., Сороковикова Л.М., Синюкович В.Н. [и др.] // Метеорология и гидрология. 2019. № 10. С. 77–86.

13. Многолетняя динамика биогенных элементов в воде озера Байкал / В.М. Домышева, М.В. Сакирко, Н.А. Онищук [и др.] // Системы контроля окружающей среды – 2018: Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, Севастополь, 05–09 ноября 2018 года. Севастополь: Колорит, 2018. С. 42–42а.

14. Preparation and assessment of a candidate reference sample of lake BAIKAL deep water / Suturin A.N., Paradina L.E., Eпов V.N., Semenov A.R. [и др.] // Spectrochimica Acta Part B. 2003. Т. 58. P. 277–288.

15. Глубинная вода озера Байкал – природный стандарт пресной воды / Грачев М.А., Домышева В.М., Ходжер Т.В. [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2004. № 12. С. 417–429.

16. Способ получения байкальской питьевой воды: пат. 2045478 Рос. Федерация, заявка: 5049273/26, 22.06.1992, опубл.: 10.10.1995, 7 с.

17. Способ получения байкальской питьевой воды: пат. 2493106 Рос. Федерация, заявка: 2011136924/05, 06.09.2011, опубл.: 20.09.2013 Бюл. № 26, 10 с.

18. Изучение изотопного и химического состава глубинной воды озера Байкал / Л.А. Оганесянц, Е.М. Севостьянова, Е.И. Кузьмина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. Т. 51, № 4. С. 723–732. DOI 10.21603/2074-9414-2021-4-723-732.

19. Оценка влияния методов водоподготовки на изотопные характеристики упакованных вод / Севостьянова Е.М., Кузьмина Е.И., Свиридов Д.А., [и др.] // Пиво и напитки, 2020. 2, С. 20–23. DOI: 10.24411/2072-9650-2020-10014.

20. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности упакованной питьевой воды, включая природные минеральные воды» (ТР ЕАЭС 044/2017). Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 года № 45.

21. ГОСТ Р 54316-2020 «Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия», М. : Стандартинформ, 2020. 49 с.

Информация об авторах

Е. М. Севостьянова – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ВНИИПБиВП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

А. А. Шилкин – младший научный сотрудник ВНИИПБиВП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

REFERENCES

1. Grachev, M.A. (2002). On the current state of the ecological system of Lake Baikal/Novosibirsk : Izdvo SO RAN. (In Russ.).

2. Domyshva, V.M., Sakirko, M.V. Onishuk, N.A. & [et al.]. (2017). Key indicators of the chemical composition of Lake Baikal water according to the data of many years of research / *Water resources: new challenges and solutions: collection of scientific papers : dedicated to the Year of Ecology in Russia and the 50th anniversary of the Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Sochi, October 02-07, 2017* / Institut vodnyh problem Rossijskoj akademii nauk, Rossijskij informacionno-analiticheskij i nauchno-issledovatel'skij vodohozhajstvennyj centr. 353-358. (In Russ.).

3. Semjonov, M.Ju. (2017). Indicators of the conditions for the formation of the chemical composition of river waters in the Baikal basin // *Geography and natural re-*

- sources, 4, 170-179. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-4(170-179). (In Russ.).
4. Ovchinnikova, T.E. & Bocharov, O.B. (2017). Numerical modeling of water exchange processes in Lake Baikal/ *Journal of Water Resources*. T. 44, 3, 322-331. DOI: 10.1134/S0097807817030150. (In Russ.).
5. Anikanova, M.N. Jakunina, O.V. & Adzhiev, R.A. (2015). Biogenic elements in the water of Lake Baikal/ *Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality: Proceedings of a scientific conference with international participation, Rostov-on-Don, September 08-10, 2015 / Federal'naja sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhajushhej sredy, Federal'noe Gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie Gidrohimicheskij institut. Tom Chast' 1., Rostov-na-Donu: Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie "Gidrohimicheskij institut", 10-13. (In Russ.).*
6. Skljjarova, O.A. (2011). Distribution of trace elements in the water column of the Middle Baikal. *Geography and natural resources*, 1, 53-59. (In Russ.).
7. Jepov, V.N., Vasil'eva, I.E., Sutorin, A.N., Lozhkin, B.I. & Jepova, E.N. (1999). Opređenje mikroelementov v Bajkal'-skoj vode metodom mass-spektrometrii s induk-tivno-svjazannoj plazmoj. *Analiticheskaja himija*. 54(11).1170-1175.
8. Blinov, V.V., Granin, N.G., Mizandrontsev, I.B. & [et al.]. Seasonal changes of the vertical structure of the water column of the pelagic zone of southern Lake Baikal. *Journal of Water Resources*, (44), 285-295. DOI: 10.1134/S0097807817030058. (In Russ.).
9. Vetrov, V. A. (2019). Fundamentals of monitoring the chemical composition of Lake Baikal water / *Modern trends and prospects for the development of hydrometeorology in Russia: Proceedings of the II All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 55th anniversary of the Department of Hydrology and Environmental Management of ISU, Irkutsk, July 05-07, 2019. Irkutsk: Irkutskij gosudarstvennyj universitet*, 20-35. (In Russ.).
10. Vetrov, V.A. & Kuznecova, A.I. (1997). Trace elements in natural environments of the region of Lake Baikal. RAN SIBIRSKOE OTDELENIE, Institut geohimii imeni A.P. Vinogradova, Novosibirsk : Izdatel'stvo Sibirskogo otdelenija RAN, ISBN 5-7692-0035-9. (In Russ.).
11. Aslamov, I.A., Balin, Ju. S., Bashenhaeva, M.V. & [et al.]. (2020). Expedition work of the LIN SB RAS on Lake Baikal in 2019/ *Results of expeditionary research in 2019 in the World Ocean, inland waters and on the Svalbard archipelago: Proceedings of the conference, Moscow, February 26-27, 2020* . Sevastopol': Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Federal'nyj issledovatel'skij centr "Institut biologii juzhnyh morej imeni A.O. Kovalevskogo RAN", 166-171. (In Russ.).
12. Domysheva, V.M., Sorokovikova, L.M., Sinjukovich, V.N. & [et al.]. (2019). The ionic composition of the water of Lake Baikal, its tributaries and the source of the Angara River in the modern period / *Meteorology and hydrology*. 10. 77-86. (In Russ.).
13. Domysheva, V.M., Sakirko, M.V., Onishhuk, N.A. & [et al.]. (2018). Long-term dynamics of biogenic elements in the water of Lake Baikal / *Environmental Control Systems - 2018: Abstracts of the International Scientific and Technical Conference, - Sevastopol': Kolorit*, 42-42a. (In Russ.).
14. Sutorin, A.N., Paradina, L.E., Epov, V.N. & [et al.]. (2003). Preparation and assessment of a candidate reference sample of lake BAIKAL deep water / *Spectrochimica Acta Part B*, T. 58, 277-288 (In Russ.).
15. Grachev, M.A., Domysheva, V.M., Hozdher, T.V. & [et al.]. (2004). Deep water of Lake Baikal is a natural standard of fresh water / *Chemistry for sustainable development*. 12, 417-429. (In Russ.).
16. Grachev, M.A., Sutorin, A.N., Avdeev V.V. & [et al.]. (1995). Method for obtaining Baikal drinking water. *Pat. 2045478 Russian Federation, published on: 10.10.1995. (In Russ.).*
17. Koroteev, V.I., Kuzin, An.A., Kuzin, Al.A. & [et al.]. (2013). (RU) Method for obtaining Baikal drinking water. *Pat. 2493106 Russian Federation, published on: 20.09.2013. Bull. No. 26, (In Russ.).*
18. Ogenesjanc, L.A., Sevost'janova, E.M., Kuz'mina, E.I. & [et al.]. (2021). Study of the isotopic and chemical composition of the deep water of Lake Baikal / *Technique and technology of food production*. T. 51, 4, 723-732. DOI 10.21603/2074-9414-2021-4-723-732. (In Russ.).
19. Sevostyanova, E.M., Kuzmina, E.I., Sviridov, D.A. & [et al.]. (2020). Evaluation of the influence of water treatment methods on the isotope characteristics of packaged waters / *Beer and drinks*. 2, 20-23. DOI : 10.24411/2072-9650-2020-10014. (In Russ.).
20. Technical Regulations of the Eurasian Economic Union "On the safety of packaged drinking water, including natural mineral waters" (2017), TR EAEU 044/2017. Adopted by the Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission dated June 23, 2017 No. 45. (In Russ.).
21. Natural mineral drinking waters. General technical conditions. (2020). GOST R 54316-2020 from 13 March 2020. Moscow : *Standartinform*. (In Russ.).

Information about the authors

E. M. Sevostyanova - Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

A. A. Shilkin - junior researcher of All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry - Branch of 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 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 634.11

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.013

EDN: NOKFMQ

ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА И ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ЯБЛОК ЗИМНИХ СРОКОВ СОЗРЕВАНИЯ

Наталья Леонидовна Наумова¹, Александр Анатольевич Лукин²,
Евгений Александрович Велисевич³

^{1,2,3} Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

¹ n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

² lukin3415@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4753-3210>

³ boode0114@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9371-4517>

Аннотация. Яблоня представляет собой главную плодовую культуру в России, потребность в свежих плодах которой составляет 7,3 млн. т, а обеспечение населения свежими яблоками не достигает 50 %. Целью исследования явилась оценка потребительских свойств и пищевой ценности яблок зимних сроков созревания сортов Первоуральская, Краса Свердловска, Благая весть, Свердловчанин (производства ИП ГК(Ф)Х Филипповой А.А., Челябинская обл., Каслинский р-н, д. Григорьевка). Органолептические показатели яблок соответствовали требованиям ГОСТ 34314-2017 и были идентифицированы как свойственные для данных помологических сортов. Плоды яблони Первоуральская и Благая весть содержали на фоне образцов-конкурентов относительно больше сахарозы, Краса Свердловска – глюкозы и молочной кислоты, Свердловчанин – фруктозы и янтарной кислоты. Яблоки сорта Свердловчанин имели более выраженные и максимально близкие к гармоничному вкусу характеристики. Из макроэлементов в изучаемых сортах яблок присутствовали (мг/кг): K^+ (в интервале 992,0–1498,0), P^{3+} (87,3–146,0), Ca^{2+} (58,3–91,7), Mg^{2+} (3,4–29,4), Na^+ (1,13), из микроэлементов: Si^{2+} (0,90–2,98), Fe^{2+} (0,35–2,75), B^{3+} (0,90–1,32), Al^{3+} (0,29–1,26), Zn^{2+} (0,24–0,52), Mn^{3+} (0,07–0,33), Cu^{2+} (0,06–0,29), Va^{2+} (0,04–0,07) с относительно высоким содержанием в плодах Краса Свердловска и низким – в яблоках Первоуральская. Яблоки сорта Краса Свердловска имели конкурентное преимущество для ликвидации возможного дефицита в пищевом рационе Co^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cu^{2+} и Fe^{2+} . По количеству сухих веществ, нерастворимых пищевых волокон и флавоноидов существенных различий между исследуемыми сортами яблок не выявлено. Полученные результаты испытаний не позволяют сделать однозначным выбор в пользу того или иного сорта яблок. Потребителю необходимо правильно расставить для себя приоритеты между их вкусом и пользой.

Ключевые слова: свежие зимние яблоки, потребительские свойства, нутриентный состав, пищевая ценность.

Для цитирования: Наумова Н. Л., Лукин А. А., Велисевич Е. А. Потребительские свойства и пищевая ценность яблок зимних сроков созревания // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 101–106. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.013. EDN: <https://elibrary.ru/NOKFMQ>.

Original article

CONSUMER PROPERTIES AND NUTRITIONAL VALUE WINTER APPLES

Natalya L. Naumova¹, Alexander A. Lukin², Evgeny A. Velisevich³

^{1,2,3} South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

¹ n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

² lukin3415@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4753-3210>

³ boode0114@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9371-4517>

© Наумова Н. Л., Лукин А. А., Велисевич Е. А. 2023

Abstract. The apple tree is the main fruit crop in Russia, the need for fresh fruits of which is 7.3 million tons, and the provision of the population with fresh apples does not reach 50%. The aim of the study was to assess the consumer properties and nutritional value of winter-ripening apples of the varieties Pervouralskaya, Krasa Sverdlovskaya, Blagaya vest, Sverdlovchanin (manufactured by an individual entrepreneur, the head of the peasant farm A.A. Filippova, Chelyabinsk region, Kaslinsky district, Grigorievka village). The organoleptic characteristics of apples met the requirements of GOST 34314-2017 and were identified as typical for these pomological varieties. The fruits of the apple tree Pervouralskaya and Blagoya vesti contained relatively more sucrose against the background of competing samples, Krasa Sverdlovsk - glucose and lactic acid, Sverdlovchanin - fructose and succinic acid. Apples of the Sverdlovchanin variety had more pronounced characteristics and were as close as possible to the harmonious taste. Of the macroelements in the studied varieties of apples were present (mg/kg): K^+ (in the range of 992.0-1498.0), P^{3+} (87.3-146.0), Ca^{2+} (58.3-91.7), Mg^{2+} (3.4-29.4), Na^+ (1.13), from trace elements: Si^{2+} (0.90-2.98), Fe^{2+} (0.35-2.75), B^{3+} (0.90- 1.32), Al^{3+} (0.29-1.26), Zn^{2+} (0.24-0.52), Mn^{3+} (0.07-0.33), Cu^{2+} (0.06-0.29), Ba^{2+} (0.04-0.07) with a relatively high content in Krasa Sverdlovsk fruits and a low content in Pervouralskaya apples. Apples of the Krasa Sverdlovsk variety had a competitive advantage in eliminating the deficiency in the diet of Co^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cu^{2+} and Fe^{2+} . According to the amount of dry matter, insoluble dietary fiber and flavonoids, there were no significant differences between the studied apple varieties. The obtained test results do not allow making an unambiguous choice in favor of one or another variety of apples. The consumer needs to correctly prioritize for himself between their taste and benefit.

Keywords: fresh winter apples, consumer properties, nutrient composition, nutritional value.

For citation: Naumova, N. L., Lukin, A. A. & Velisevich, E. A. (2023). Consumer properties and nutritional value winter apples. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 101-106. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.013. <https://elibrary.ru/NOKFMQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Яблоня представляет собой главную плодую культуру в России, потребность в свежих плодах которой, составляет 7,3 млн. т, а обеспечение населения свежими яблоками не достигает 50 % [1, 2].

Яблоки являются важным компонентом здорового и сбалансированного питания, значительно повышают адаптационный потенциал человека. Потребление их в достаточном количестве снижает риск возникновения различных заболеваний и преждевременного старения организма [3, 4]. В зависимости от сорта и условий выращивания свежие плоды яблони содержат в среднем 12,5–16,0 % сухих веществ, 11,5–14,5 % углеводов, 2,0–3,0 % клетчатки, 0,15–0,25 % минеральных и 0,6–1,1 % пектиновых веществ, до 1,2 % различных кислот, витаминов группы В и т.д. [5–7]. Присутствующие в яблоках аскорбиновая кислота и полифенольные вещества обладают высокой антиоксидантной активностью [8].

В условиях Южного Урала яблоня относится к числу наиболее адаптивных плодовых культур, отличающихся повышенной зимостойкостью, засухоустойчивостью, скороплодностью, высокой продуктивностью [9].

Целью исследования явилась оценка потребительских свойств и пищевой ценности яблок зимних сроков созревания.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явились свежие яблоки четырех помологических сортов (рис. 1) зимних сроков созревания, урожая 2022 г, промышленно выращенные ИП ГК(Ф)Х Филипповой А.А. (ТМ «Григорьевские сады», Челябинская обл., Каслинский р-н, д. Григорьевка).



Рисунок 1 – Внешний вид яблок

Figure 1 – Appearance of apples

ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА И ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ЯБЛОК ЗИМНИХ СРОКОВ СОЗРЕВАНИЯ

Органолептические показатели яблок определяли по ГОСТ 34314-2017, опираясь на требования ГОСТ Р 57976-2017, общее содержание сухих веществ и влаги – по ГОСТ 33977-2016, сахаров – по М 04-69-2011, органических кислот – по М 04-47-2012, нерастворимых пищевых волокон – по ГОСТ Р 54014-2010, флавоноидов – Р 4.1.1672-2003, титруемую кислотность – по ГОСТ ISO 750-2013.

Удовлетворение суточной потребности в минеральных элементах соотносили с нормами их потребления согласно МР 2.3.1.0253-21.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Высокие вкусовые и товарные качества плодов уральских (свердловских) видов яблок подтверждаются на дегустациях и в муниципальных и любительских садах РФ [10]. В этой связи представляло интерес изучение потребительских характеристик исследуемых сортов яблок. Установлено, что органолептические свойства плодов (табл. 1) соответствуют требованиям ГОСТ 34314-2017 с акцентом на цветковые особенности окраски кожицы, формы, запаха и вкуса яблок, специфическими для каждого помологического сорта. Отличительные ноты во вкусовой гамме плодов, а именно кисло-сладкий вкус у сортов Первоуральская и Свердловчанин, и кисловатый вкус у яблок Краса Свердловска и Благая весть обусловлены, в первую очередь, фракционным составом, количественными уровнями и соотношением органических кислот и сахаров, что нашло свое отражение при исследовании этих и других показателей. Притом, что из анализируемых сахаров во всех сортах яблок преобладала фрук-

тоза (55–67 % по массе), а из органических кислот – яблочная (83–93 %), плоды яблоки Первоуральская и Благая весть содержали на фоне образцов-конкурентов относительно больше сахарозы, Краса Свердловска – глюкозы и молочной кислоты, Свердловчанин – фруктозы и янтарной кислоты. Если принять сладость сахарозы равной 100 %, то сладость глюкозы будет составлять 74 %, сладость фруктозы – 173 %. Среди кислот в растительном сырье наибольшее влияние на формирование вкуса оказывают яблочная, винная и лимонная [11]. Таким образом, яблоки сорта Свердловчанин имели более выраженные вкусовые характеристики.

При оценке вкусовых показателей качества свежих плодов обращают внимание на сахарокислотный индекс, который отражает соотношение общего содержания сахаров и органических кислот в плодах. Принято считать, что наиболее гармоничным вкусом характеризуются свежие плоды яблок при сахарокислотном индексе от 14±1 до 26±1. Наиболее близкими к нижнему пределу этого индекса были яблоки сортов Свердловчанин и Первоуральская. Однако необходимо помнить о том, что исследуемые сорта яблок способны к продолжительному хранению, в начальной стадии которого, как известно, в плодах снижается кислотность, а количество сахаров, наоборот, возрастает [12]. В этой связи некоторое изменение вкусовых характеристик яблок является вполне ожидаемым.

По количеству сухих веществ, нерастворимых пищевых волокон и флавоноидов существенных различий между исследуемыми сортами яблок не выявлено.

Таблица 1 – Качество и нутриентный состав яблок

Table 1 – Quality and nutritional composition of apples

Показатель	Результаты исследований яблок сорта			
	Первоуральская	Краса Свердловска	Благая весть	Свердловчанин
1	2	3	4	5
Органолептические свойства				
Степень зрелости и состояние плода	Плоды съёмной степени зрелости, способные выдержать погрузку, транспортирование, разгрузку и доставку к месту назначения			
Внешний вид	Плоды целые, чистые, без излишней внешней влажности, типичной для помологического сорта формы и окраски, с плодоножкой			
Состояние мякоти	Мякоть доброкачественная. Свойственные данному помологическому сорту, без постороннего запаха и привкуса			
Запах и вкус	вкус кисло-сладкий	вкус кисловатый		вкус кисло-сладкий
Физико-химические свойства				
Массовая доля влаги, %	83,0±1,9	83,0±1,9	82,6±1,8	82,0±1,7

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5
Общее содержание сухих веществ, %	17,0±0,2	17,0±0,2	17,4±0,3	18,0±0,3
Содержание сахаров, %, в т.ч.:	14,6±0,4	14,6±0,5	13,7±0,3	15,4±0,4
сахароза	4,4±0,3	1,7±0,3	4,4±0,2	2,6±0,3
глюкоза	2,2±0,3	3,4±0,2	1,6±0,2	2,5±0,2
фруктоза	8,0±0,4	9,5±0,5	7,7±0,3	10,3±0,5
Содержание органических кислот, мг/кг, в т.ч.:				
яблочная	7959,2±97,3	9025,1±101,4	8297,0±88,2	21860,1±165,9
янтарная	1437,0±18,2	326,0±2,7	1392,3±11,4	1581,0±13,2
молочная	–	988,7±7,3	279,0±4,8	–
Титруемая кислотность, %	1,3±0,1	1,7±0,1	1,5±0,1	1,3±0,1
Сахарокислотный индекс, о.е.	11,2±0,2	8,6±0,3	9,1±0,2	11,8±0,2
Содержание нерастворимых пищевых волокон, г/100 г	1,6±0,1	1,6±0,1	1,4±0,1	1,5±0,1
Содержание флавоноидов (в пересчете на рутин), %	0,05±0,01	0,04±0,01	0,04±0,01	0,05±0,01

Доля минеральных веществ в яблоках в среднем составляет 0,5 %, но их роль для организма человека велика, они участвуют в обмене веществ практически всех тканей [13]. Из макроэлементов в изучаемых сортах яблок определено (рис. 2) присутствие (мг/кг) K^+ (в интервале 992,0–1498,0), P^{3+} (87,3–146,0), Ca^{2+} (58,3–91,7), Mg^{2+} (3,4–29,4), Na^+ (1,13). Яблоки сорта Краса Свердловска содержали максимальное количество указанных минералов за исключением Ca^{2+} . Относительно низкий уровень макроэлементов кроме Ca^{2+} отмечался у плодов яблони Первоуральская. Микроэлементный состав яблочек (рис. 3) был представлен большим числом (72,2 % от общего количества) соединений, среди которых преобладали (мг/кг): Si^{2+} (0,90–2,98), Fe^{2+} (0,35–2,75), B^{3+} (0,90–1,32), Al^{3+} (0,29–1,26), Zn^{2+} (0,24–0,52), Mn^{3+} (0,07–0,33), Cu^{2+} (0,06–0,29), Ba^{2+} и Pb^{2+} (0,04–0,07) с относительно высоким содержанием в плодах Краса Свердловска и низким – в яблоках Первоуральская. Микроэлементы Cr^{2+} и Sr^{2+} были обнаружены в сортах Краса Свердловска (0,02 мг/кг) и Свердловчанин (0,01 мг/кг), Краса Свердловска (0,07 мг/кг) и Благая весть (0,03 мг/кг) соответственно. Ti^{2+} и Co^{2+} присутствовали только в яблоках сорта Краса Свердловска.

104

В целом по количеству минеральных элементов анализируемые сорта яблок могут быть ранжированы в следующей последовательности: Краса Свердловска > Благая весть > Свердловчанин > Первоуральская.

Изучив пользу яблок с точки зрения удовлетворения суточной потребности в жизненно важных для организма человека минералах при употреблении 100 г плодов (рис. 4), пришли к выводу, что яблоки Краса Свердловска имели конкурентное преимущество на фоне образцов-аналогов особенно для ликвидации возможного дефицита в пищевом рационе Co^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cu^{2+} и Fe^{2+} .

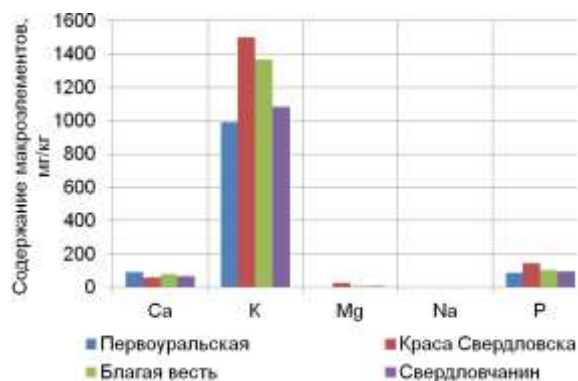


Рисунок 2 – Макроэлементный состав яблок
Figure 2 – Macronutrient composition of apples

ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА И ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ЯБЛОК ЗИМНИХ СРОКОВ СОЗРЕВАНИЯ

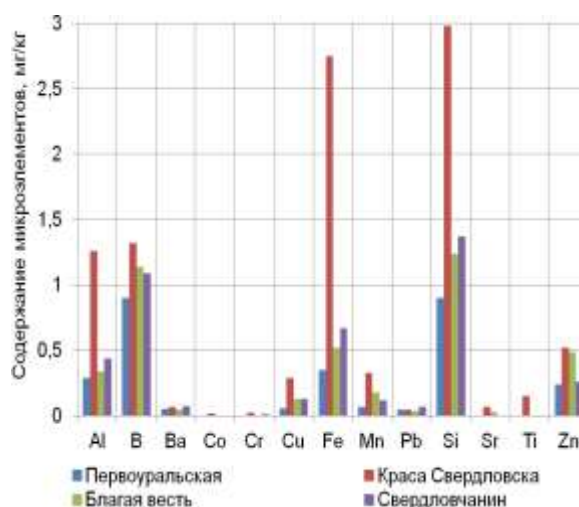


Рисунок 3 – Микроэлементный состав яблок
Figure 3 – Trace element composition of apples

ВЫВОДЫ

Органолептические свойства исследуемых яблок соответствуют требованиям ГОСТ 34314-2017 с учетом морфологических и вкусо-ароматических особенностей, характерных для каждого помологического сорта. Различия во вкусовых показателях свежих плодов нашли отражение в результатах физико-химических исследований (содержании сахаров, органических кислот, титруемой кислотности, сахарокислотном индексе). Установлено, что яблоки сорта Свердловчанин имели более выраженные и максимально близкие к гармоничному вкусу характеристики. При изучении макро- и микроэлементного состава определено, что яблоки сорта Краса Свердловска имели конкурентное преимущество на фоне образцов-аналогов особенно для ликвидации возможного дефицита в пищевом рационе Co^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cu^{2+} и Fe^{2+} .

Таким образом, полученные результаты испытаний не позволяют сделать однозначным выбор в пользу того или иного сорта яблок. Потребителю необходимо правильно расставить для себя приоритеты между их вкусом и пользой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луковникова Н.С., Луканова Е.А. Современное состояние производства и реализации яблок в России // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2021. № 4 (54). С. 84–89.
2. Дулов М.И. Биохимический состав и производство яблок в странах мира // Наукосфера. 2022. № 2–1. С. 90–96.
3. Муродова М.М., Кароматов И.Д. Яблоки – лечебное и профилактическое средство //



Рисунок 4 – Удовлетворение потребности в эссенциальных элементах

Figure 4 – Meeting the need for essential elements

Биология и интегративная медицина. 2018. № 1 (18). С. 119–129.

4. Michalak A. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress // Polish Journal of Environmental Studies. 2006. Vol. 15. № 4. P. 523–530.

5. Назирова Р.М., Абдурахмонов С.Ж., Усмонов Н.Б. Изменение химического состава некоторых сортов яблок при хранении в регулируемой атмосфере // Наука, техника и образование. 2019. № 3 (56). С. 24–27.

6. Нестерова Н.В., Самылина И.А., Кондрашев С.В. Сравнительный анализ микроэлементного состава яблоки лесной и домашней методом рентгенофлуоресцентного анализа // Журнал научных статей «Здоровье и образование в XXI веке». 2019. Т. 21. № 1. С. 80–85.

7. Фитохимический состав и биологическая активность рода *Malus Mill.* (Обзор) / Д.К. Сатмбекова [и др.] // Фармация Казахстана. 2022. № 4. С. 238–245.

8. Бурак Л.Ч., Завалей А.П. Создания продуктов с высокой антиоксидантной активностью с помощью полифенольных веществ яблок. Обзор // The Scientific Heritage. 2022. № 84–1 (84). С. 28–40.

9. Гасымов Ф.М., Мазунин М.А., Глаз Н.В. Оценка экологической пластичности челябинских сортов яблони // Ученые заметки ТОГУ. 2019. Т. 10. № 3. С. 194–199.

10. Джураева Ф.К., Мурсалимова Г.Р., Меррежко О.Е. Биохимический состав плодов яблони в качестве генетического источника для селекции на Южном Урале // Плодоводство и ягодоводство России. 2014. Т. 40. № 2. С. 105–111.

11. Исследование компонентов, формирующих органолептические характеристики плодов и ягод / И.М. Почичкая [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 1. С. 50–61.

12. Хоконов А.Б., Хоконова М.Б. Изменения химического состава сока яблок при созревании и хранении // Биология в сельском хозяйстве. 2022. № 3 (36). С. 32–34.

13. Минеральный состав яблок / С.М. Мотылёва [и др.] // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2017. № S13. С. 226–228.

Информация об авторах

Н. Л. Наумова – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории перспективных исследований молекулярных механизмов стресса, профессор кафедры экологии и химической технологии Южно-Уральского государственного университета (НИУ).

А. А. Лукин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии» Южно-Уральского государственного университета (НИУ).

Е. А. Велисевич – аспирант кафедры экологии и химической технологии Южно-Уральского государственного университета (НИУ).

REFERENCES

1. Lukovnikova, N.S. & Lukanova, E.A. (2021). The current state of production and sales of apples in Russia. *Innovative economy: prospects for development and improvement*, 4 (54), 84-89. (In Russ.).
2. Dulov, M.I. (2022). Biochemical composition and production of apples in the countries of the world. *Naukosphere*, 2-1, 90-96. (In Russ.).
3. Murodova, M.M. & Karomatov, I.D. (2018). Apples - a therapeutic and prophylactic agent. *Biology and Integrative Medicine*, 1 (18), 119-129. (In Russ.).
4. Michalak, A. (2006). Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15 (4), 523-530. (In Poland).
5. Nazirova, R.M., Abdurakhmonov, S.Zh. & Usmonov, N.B. (2019). Changes in the chemical composition of some varieties of apples during storage in a controlled atmosphere. *Science, technology and education*, 3 (56), 24-27. (In Russ.).
6. Nesterova, N.V., Samylina, I.A. & Kondrashev, S.V. (2019). Comparative analysis of the microelement composition of forest and domestic apple trees by X-ray fluorescence analysis. *Journal of scientific articles "Health and education in the XXI century"*, 21(1), 80-85. (In Russ.).
7. Satmbekova, D.K., Ibrahim, K.M.,

Alimseitova, Zh.K., Alimova, U.S. & Madzhitova, M.A. Phytochemical composition and biological activity of the genus *Malus* Mill. (Review). (2022). *Pharmacy of Kazakhstan*, 4, 238-245. (In Kazakhstan).

8. Burak, L.Ch. & Zavalei, A.P. (2022). Creation of products with high antioxidant activity using apple polyphenolic substances. Review. *The Scientific Heritage*, 84-1 (84), 28-40. (In Russ.).

9. Gasimov, F.M., Mazunin, M.A. & Glaz, N.V. (2019). Evaluation of the ecological plasticity of Chelyabinsk apple varieties. *Uchenye zametki TOGU*, 10 (3), 194-199. (In Russ.).

10. Juraeva, F.K., Mursalimova, G.R. & Merezko, O.E. (2014). Biochemical composition of apple fruits as a genetic source for selection in the Southern Urals. *Fruit growing and berry growing in Russia*, 40 (2), 105-111. (In Russ.).

11. Pochitskaya, I.M., Roslyakov, Yu.F., Komarova, N.V. & Roslik, V.L. (2019). Study of the components that form the organoleptic characteristics of fruits and berries. *Technique and technology of food production*, 49 (1), 50-61. (In Russ.).

12. Khokonov, A.B. & Khokonova, M.B. (2022). Changes in the chemical composition of apple juice during ripening and storage. *Biology in agriculture*, 3 (36), 32-34. (In Russ.).

13. Motylyova, S.M., Kulikov, I.M., Borisova, A.A. & Mertvishcheva, M.E. (2017). Mineral composition of apples. *New and non-traditional plants and prospects for their use*, S13, 226-228. (In Russ.).

Information about the authors

N.L. Naumova - Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Laboratory for Advanced Studies of Molecular Mechanisms of Stress, Professor of the Department of Ecology and Chemical Technology, South Ural State University (NRU).

A.A. Lukin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University (NRU).

E.A. Velisevich - Post-graduate student of the Department of Ecology and Chemical Technology, South Ural State University (NRU).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 631.563.2.23.036/057

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.014

 EDN: LUUTLM

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА МЯГКОГО СЫРА С ПОРОШКОМ ИЗ МОРКОВИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Виктор Борисович Мазалевский¹, Сергей Константинович Волончук²,
Галина Петровна Чекрыга³, Светлана Владимировна Станкевич⁴

^{1, 2, 3, 4} Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, п. Краснообск, Россия

¹ mazalevskij@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5870-2350>

² volonchuk2015@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-6697-8736>

³ niip56@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

⁴ sveticstank@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5157-2004>

Аннотация. В статье приведены результаты исследований процесса производства мягкого сыра с порошком из моркови функциональной направленности. В настоящее время все большее внимание исследователи и практики обращают на расширение ассортимента мягких сыров и, в частности, сыров с растительными добавками различного происхождения. Это вызвано, прежде всего, несложной технологией их изготовления, возможностью реализации без созревания, сравнительно высокой питательной ценностью и относительно невысокой ценой. Однако следует отметить, что продукты питания, полученные по существующим технологиям, зачастую содержат недостаточное количество витаминов, минеральных веществ и других биологически активных веществ, необходимых для нормального функционирования организма человека на протяжении длительного времени, что, как следствие, приводит к возникновению различных заболеваний. Поэтому важная роль принадлежит продуктам функциональной направленности. В основе технологий пищевых продуктов функциональной направленности лежит модификация состава традиционных продуктов, направленная на повышение пищевой ценности путем увеличения содержания полезных ингредиентов до уровня, отвечающего физиологическим нормам их потребления, то есть 15–20 % от суточной потребности. К продуктам, повышающим содержание β-каротина в традиционном продукте, относится морковь.

В результате исследований установлено, что внесение в смесь сырного зерна и сыворотки порошка моркови в количестве 5, 10 г из расчета на 1 головку сыра массой 300 г обеспечивает 15 % суточной потребности взрослого человека в β-каротине. Получен мягкий сыр с содержанием массовой доли жира 45 %, белка 20 %, влаги 65 %, соли 1,8 %, β-каротина 0,36–1,08 мг/%, при сохранении хороших органолептических показателей мягкого сыра функционального назначения.

Под действием инфракрасного излучения при сушке кусочков моркови и вследствие высокой (95±2) °С температуры смеси сырного зерна с молочной сывороткой происходит микробная инактивация, что делает сыр безопасным для здоровья человека.

Ключевые слова: сыр, молоко, сыворотка молочная, морковь, β-каротин, безопасность, функциональное назначение.

Для цитирования: Способ производства мягкого сыра с порошком из моркови функциональной направленности / В. Б. Мазалевский [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 107–114. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.014. EDN: <https://elibrary.ru/LUUTLM>.

METHOD OF PRODUCTION OF SOFT CHEESE WITH CARROT POWDER OF FUNCTIONAL ORIENTATION

Viktor B. Mazalevskij¹, Sergej K. Volonchuk², Galina P. Chekryga³,
Svetlana V. Stankevich⁴

^{1, 2, 3, 4} Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk village, Russia

¹ volonchuk2015@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-6697-8736>

² mazalevskij@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5870-2350>

³ niip56@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

⁴ sveticstank@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5157-2004>

Abstract. *The article presents the results of studies of the production process of soft cheese with carrot powder of functional orientation. Currently, researchers and practitioners are paying more and more attention to expanding the range of soft cheeses and, in particular, cheeses with vegetable additives of various origins. This is caused, first of all, by the simple technology of their manufacture, the possibility of realization without maturation, relatively high nutritional value and relatively low price. However, it should be noted that food products obtained by existing technologies often contain insufficient amounts of vitamins, minerals and other biologically active substances necessary for the normal functioning of the human body for a long time, which, as a consequence, leads to the emergence of various diseases. Therefore, an important role belongs to functional products. Functional food technologies are based on the modification of the composition of traditional products aimed at increasing the nutritional value by increasing the content of useful ingredients to a level that meets the physiological norms of their consumption, that is, 15% of the daily requirement. The products that increase the content of beta-carotene in a traditional product include carrots.*

As a result of the research, it was found that the addition of carrot powder in the amount of 5-10 g per 1 head of cheese weighing 300 g to the mixture of cheese grains and carrots provides 15% of the daily needs of an adult in beta-carotene. Soft cheese was obtained with a mass fraction of fat 45%, protein 20%, moisture 65%, salt 1.8%, beta-carotene 0.36-1.08 mg/%, while maintaining good organoleptic characteristics of soft cheese of functional purpose.

Under the influence of infrared radiation when drying carrot pieces and due to drying (95 ± 2)°C from the temperature of the mixture of cheese grains with whey, micro-inactivation occurs, which makes cheese safe for human health.

Keywords: *cheese, milk, milk whey, carrot, beta-carotene, safety, functional purpose.*

For quoting: Mazalevskiy, V. B., Volonchuk, S. K., Chekryga, G. P. & Stankevich, S. V. (2023). Method of production of soft cheese with carrot powder of functional orientation. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 107-114. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.014. <https://elibrary.ru/LUUTLM>.

ВВЕДЕНИЕ

С 2014 г. объём продаж мягких сыров на российском рынке из-за падения импорта в связи с введением эмбарго на ввоз молочной продукции из стран ЕС, США и др. снизился на 5,3 % относительно 2013 г. Таким образом, продуктовое эмбарго создало благоприятные условия для развития импортозамещения на рынке мягких сыров [1]. Высокая рентабельность мягких сыров является залогом того, что при правильной организации производства и сбыта удельный вес их в общем объёме натуральных сыров будет постоянно возрастать [2]. В связи с этим все большее внимание исследователи и практики обращают

на расширение ассортимента таких сыров. Это вызвано, прежде всего, несложной технологией их изготовления, возможностью реализации без созревания, сравнительно высокой питательной ценностью и относительно невысокой ценой. Однако, следует отметить, что продукты питания, полученные по существующим технологиям, часто не содержат достаточное количество витаминов, минеральных веществ и других биологически активных веществ, необходимых для нормального функционирования организма человека, что может приводить к возникновению различных заболеваний. В связи с этим расширение ассортимента и повышение питательной ценности осуществляется путем разра-

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА МЯГКОГО СЫРА С ПОРОШКОМ ИЗ МОРКОВИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

ботки и изготовления составных сыров, создания технологий сыров с лечебно-профилактическими свойствами, включающих различные добавки растительного происхождения [2, 5–11].

Среди них важная роль принадлежит продуктам функциональной направленности, произведенным по специальным технологиям. Эти продукты предназначены для повседневного потребления, безопасны для человека, обеспечивают потребности пластического и энергетического обмена, повышают устойчивость организма к действию патогенных факторов различной природы и способствуют восстановлению организма после экстремальных нагрузок и выздоровлению. В основе технологий пищевых продуктов функциональной направленности лежит модификация состава традиционных продуктов, направленная на повышение физиологической и пищевой ценности путем увеличения содержания полезных ингредиентов до уровня, отвечающего физиологическим нормам их потребления, то есть 15 % от суточной потребности [3, 4, 12, 13].

Основные принципы повышения пищевой ценности продуктов питания были сформулированы зарубежными и отечественными учеными на основе многолетнего опыта по разработке, производству, использованию и оценке эффективности обогащения пищевых продуктов в нашей стране и за рубежом [14–18]:

- использовать те микронутриенты, дефицит которых реально имеет место, достаточно широко распространен и безопасен для здоровья;

- количество витаминов и минеральных веществ, вносимых в обогащаемые продукты, должно быть рассчитано с учетом их естественного содержания в исходном продукте или сырье, используемом для его изготовления, а также с учетом потерь в процессе производства и хранения с тем, чтобы обеспечить содержание этих витаминов и минеральных веществ на уровне не ниже регламентируемого в течение всего срока годности;

- регламентируемое или гарантируемое содержание витаминов и минеральных веществ в обогащенном ими продукте питания должно быть достаточным для удовлетворения 15 % средней суточной потребности в этих микронутриентах при обычном уровне потребления. Перечисленные требования относятся к функциональным пищевым ингредиентам.

Согласно ГОСТ Р 52349-2005 Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения (с Изменением № 1) – это функциональные пищевые ингредиенты, входящие в состав функционально-

го пищевого продукта в количестве не менее 15 % от суточной физиологической потребности, в расчете на одну порцию продукта, обладающие способностью оказывать научно обоснованный и подтвержденный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена веществ в организме человека при систематическом употреблении содержащего их функционального пищевого продукта. К функциональным пищевым ингредиентам относят физиологически активные, ценные и безопасные для здоровья ингредиенты с известными физико-химическими характеристиками, для которых выявлены и научно обоснованы полезные для сохранения и улучшения здоровья свойства, установлена суточная физиологическая потребность.

Более всего отвечает указанным выше условиям как по пищевой ценности, так и экономически, морковь. Морковь легко усваивается, поэтому широко используется в рационе питания человека. Она обладает кроветворным, бактерицидным, общеукрепляющим, противовоспалительным, желчегонным, мочегонным, слабительным, ранозаживляющим, болеутоляющим, антисклеротическим действием, поэтому широко используется в диетическом и лечебном питании. Ее применяют при малокровии, цинге, ревматизме, расстройстве зрения, сердечно-сосудистых заболеваниях, упадке сил [3, 4]. Морковь – ценный источник β-каротина. Известно, что витамин А (β-каротин) лучше усваивается в присутствии жиров, что является важным критерием при введении его в рецептуру получения сыра. β-каротин в витамин А начинает превращаться только тогда, когда организм ощущает его нехватку, а до этого он работает как антиоксидант в той форме, в которой поступил в организм, его активность значительно превышает активность чистого витамина. В отличие от витамина А β-каротин в больших дозах не обладает токсичностью. Также это вещество обладает иммуностимулирующим и адаптогенным действием. Ненасыщенная структура β-каротина позволяет его молекулам абсорбировать свет и предотвращать накопление свободных радикалов и активных форм кислорода. Бета-каротин подавляет выработку свободных радикалов, тем самым он защищает клетки иммунной системы от повреждения свободными радикалами и может улучшать состояние иммунитета.

Для правильной дозировки порошка моркови нужно учитывать суточное потребление β-каротина, которое согласно физиологической потребности для взрослых составляет 5 мг/сутки [13].

В патенте RU 2 370044 «Композиция для получения мягкого сыра» обращается внимание на то, что для обеспечения равномерной доступности биологически активных веществ продукта пищеварительной системе организма человека вводимый обогащающий наполнитель должен быть тонкодисперсным. От способа получения тонкодисперсного порошка зависит сохранность биологически активных веществ. Применяемые в промышленности способы получения порошков зачастую снижают их пищевую ценность и, прежде всего, за счёт разрушения витаминов. Порошок моркови содержит повышенное количество β -каротина, а пищевых волокон – в 12,9 раза больше, чем в пшеничной муке. Отмеченные свойства достигнуты благодаря щадящей технологии ИК-сушки сырья [12].

Цель работы – исследовать способ получения мягкого сыра с функциональной добавкой из порошка моркови, позволяющий получать мягкий сыр с повышенной пищевой и физиологической ценностью функционального назначения.

Поставленную задачу решали путем получения сырного зерна, внесением в него порошка моркови с последующим самопрессованием в течение 24 часов, посола и выдержки в течение 24 часов.

МАТЕРИАЛЫ, УСЛОВИЯ, МЕТОДЫ

В качестве сырья использовали молоко фермы п. Элитное жирностью 4,2–4,4 %. Морковь сорта Шантенэ из Тогучинского района Новосибирской области, кислота лимонная, соль поваренная пищевая, вода.

Оборудование: бак с водяной рубашкой, емкостью 20 л, сепаратор, дуршлаг-формователь, термометр стержневого типа (стик-термометр) Testo 905-T1.

Для получения сыра мягкого проводили подбор и подготовку порошка моркови путем инфракрасной сушки сырья и последующего тонкого измельчения.

Были изготовлены 4 образца сыра: 1 – контрольный, 2, 3, 4-й с удалением 50–70 % сыворотки и внесением 5, 10, 15 г порошка в смесь сырного зерна и сыворотки.

Молоко нормализовали до получения жирности 3,5 %. Затем нагревали до температуры (95 ± 2) °С, добавляли лимонную кислоту – 10 % водный раствор с температурой 35 °С, перемешивали в течение 5 минут до получения сырного зерна, затем часть сыворотки (50–70 %) удаляли. Делали контрольный образец сыра без добавки порошка моркови. В оставшуюся часть зерна и сыворотки вносили порошок моркови из расчета получе-

ния 3-х образцов сыра с содержанием порошка в количестве 5, 10, 15 г на 1 головку сыра массой 300 г или из расчета 275–395 г на 100 кг молока, что соответствует 15 % суточной потребности взрослого человека в β -каротине [13]. Смесь подвергали интенсивному перемешиванию, выдержке при температуре (95 ± 2) °С в течение 5–7 мин, затем формовали смесь в дуршлаг-формователе, где происходит окончательное отделение сыворотки от зерна.

Затем ставили головки сыра на сутки в холодильник с температурой 8–12 °С в камере, где происходит самопрессование сыра. Через сутки на поверхность сыра наносили сухую соль из расчета 1,5–1,8 % соли к сырной массе и выдерживали в течение 24 часов при температуре 8–12 °С, что способствует равномерному распределению соли по объёму головки сыра и улучшает консистенцию готового продукта.

Все анализы и расчеты по содержанию β -каротина приводились для одноразовой порции продукта массой 100 г.

Одноразовая порция – величина довольно условная и переменная. Она зависит в первую очередь от традиций питания, от профессиональной нагрузки, пола, возраста и, конечно, от индивидуальных особенностей человека. В литературе имеются многочисленные рекомендации по величине «одноразовой порции» того или иного блюда. По рекомендации FDA одноразовой может считаться порция, которая нормально может быть съедена за один прием пищи [19].

По данным Панасенко С.В. с соавторами, превышение рекомендуемой Минздравом России рациональной нормы потребления сыра (7 кг/чел/год) не является критичным при условии ограничения предельного потребления уровнем в 32 кг кг/чел/год (87 г/сут) [20].

Также Минздрав России не дает различий в уровне потребления между полутвердыми сырами и мягкими, а эти группы сыров значительно отличаются как по содержанию холестерина, так и по содержанию кальция.

Например, сыр Советский содержит 62,1 % сухих веществ, 31,1 % жира, 96 мг/% холестерина и 950 мг/% кальция. А сыр Адыгейский содержит 44 % сухих веществ, 19,8 % жира, 54 мг/% холестерина, 520 мг/% кальция.

По данным Минздрава России, в пересчете на молоко всего рекомендуемая рациональная норма потребления молока и молочных продуктов составляет 325 кг/чел/год (890 г/сут). Для мягких сыров, получаемых термокислотным способом, выход сыра составляет 15 %. Из 890 г молока получается

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА МЯГКОГО СЫРА С ПОРОШКОМ ИЗ МОРКОВИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

133 г сыра, которые можно считать рациональной нормой потребления или одной порцией продукта. Для удобства в данной работе в качестве одноразовой порции выбрано 100 г продукта [21].

Массовую долю белка в молоке определяли по ГОСТ 25179-2014 Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка. Массовую долю жира в молоке определяли по ГОСТ Р ИСО 2446-2011 Молоко. Метод определения содержания жира.

Массовую долю влаги в моркови определяли по ГОСТ 28561-90 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги.

Каротин определялся методом, описанным в [22].

Микробиологические исследования проводили в лаборатории качества и безопасности СФНЦА РАН. Микробиологические показатели – методами микробиологического анализа по ГОСТ 10444.12-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов», ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов», ГОСТ 30726-2001 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий вида *Escherichia coli*», ГОСТ 31659-2012 «Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*», ГОСТ 31746-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*», ГОСТ 31747-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)».

Порошок получали из моркови, измельченной на кусочки сечением 5x5, 7x7 мм, высушенной до влажности 6–8% путем инфракрасной сушки на разработанной в ГНУ

СибНИТИП установке (рис. 1), обеспечивающей регулирование плотности потока облучения зерна электромагнитным полем инфракрасного диапазона длин волн, генерируемым лампой марки КГТ 220-1000, в пределах 17–23 кВт/м². При сушке температура в камере не превышала 60–65 °С.

Сушеную морковь подвергали тонкому измельчению на мельнице ударного воздействия до размеров частиц 140–260 мкм [20].

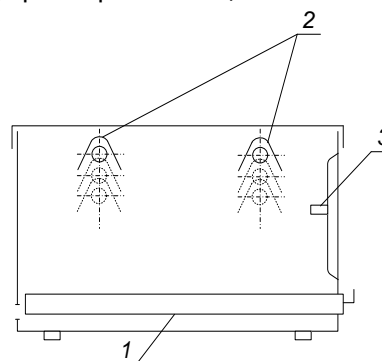


Рисунок 1 – Лабораторная установка для ИК-сушки моркови

Figure 1 – Laboratory installation for infrared drying of carrots

1 – поддон с кусочками моркови; 2 – регулируемый по высоте отражатель с ИК-лампой; 3 – датчик температуры в камере

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование органолептических показателей мягкого сыра с порошком моркови представлены в таблице 1. Анализ данных показывает, что добавление порошка моркови приводит к изменению органолептических показателей сыра. Поверхность сыра приобретает светло-оранжевую окраску с оранжевыми включениями (рис. 2, а, б).

Балльная оценка органолептических показателей мягкого сыра с порошком моркови по ГОСТ 33630 представлена в таблице 2.

Таблица 1 – Органолептические показатели мягкого сыра с порошком моркови

Table 1 – Organoleptic characteristics of soft cheese with carrot powder

Показатель	Количество порошка моркови, г			
	0	5	10	15
Внешний вид и цвет	ровная белая поверхность с рисунком от формы	ровная светло-оранжевая поверхность с оранжевыми включениями и рисунком от формы		неровная светло-оранжевая поверхность с рисунком от формы
Вкус и запах	чистый, сырный, сливочный	сырный со слабым привкусом и запахом моркови	сырный с привкусом и запахом моркови	Выраженный вкус и запах моркови
Консистенция	умеренно плотная	умеренно плотная	слегка ломкая	крошливая
Рисунок	отсутствует	на срезе на светло-оранжевом фоне оранжевые частицы порошка моркови		присутствуют пустоты угловатой формы

Таблица 2 – Балльная оценка органолептических показателей мягкого сыра с порошком моркови
Table 2 – Scoring of organoleptic parameters of soft cheese with carrot powder

Показатель	Количество порошка моркови, г			
	0	5	10	15
Внешний вид	5	5	5	4
Вкус и запах	20	20	20	18
Консистенция	10	10	9	7
Рисунок	5	5	5	4
Цвет	5	5	5	5
Упаковка и маркировка	5	5	5	5
Итого	50	50	49	43



а



б

Рисунок 2 – Внешний вид сыра с 10 г порошка моркови на головку массой 300 г (а), вид на разрезе (б)

Figure 2 – Appearance of cheese with 10 g of carrot powder per head weighing 300 g (a), sectionview (b)

При дозе 15 г порошка моркови на головку массой 300 г поверхность становилась незамкнутой, за что при балльной оценке получала скидку в 1 балл. Внесение порошка моркови в сыр придавало сыру соответствующий привкус и запах. В образцах с дозой порошка 5 и 10 г привкус и запах моркови гармонично вписывался во флейвор сыра, но при дозе 15 г привкус и запах моркови становился навязчивым, поэтому скидка составляла 2 балла. Внесение порошка моркови сказывалось на консистенции продукта, нарушая ее связность, в дозах 5–10 г это не оказывало существенного влияния, но при дозе 15 г консистенция становилась крошливой, поэтому скидка составляла 3 балла. Также доза внесения порошка моркови 15 г приводила к появлению в сыре нехарактерных для этого вида полостей угловатой формы, за что снимали 1 балл.

Таким образом, органолептическая

оценка показала, что доза порошка моркови в количестве до 10 г на головку массой 300 г не приводит к ухудшению органолептических показателей сыра.

Результаты анализов на содержание β -каротина в сырой моркови, ИК сушеной, в 3-х образцах мягкого сыра с добавлением 5, 10, 15 г порошка моркови представлены в таблице 2 и на рисунке 3.

В процессе сушки массовая доля влаги в моркови уменьшалась на 70,2 %, а содержание β -каротина увеличивалось на 13,87 % за счет уменьшения содержания влаги и повышения концентрации сухого вещества моркови.

По данным [22], морковь, высушенная при 100 °С, содержит 12 мг/% β -каротина. Таким образом, при сушке моркови инфракрасным способом β -каротина сохраняется на 11,54 % больше.

Таблица 3 – Изменение содержания β каротина в моркови в процессе ИК сушки

Table 3 – Changes in the β carotene content in carrots during IR drying

Вид исследования (НД)	Наименование исследуемой продукции	
	Морковь сырая	Морковь после ИК сушки
Содержание влаги, %	90,1±0,4	10,9±0,3
Содержание β каротина, мг%	9,67	23,54

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА МЯГКОГО СЫРА С ПОРОШКОМ ИЗ МОРКОВИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

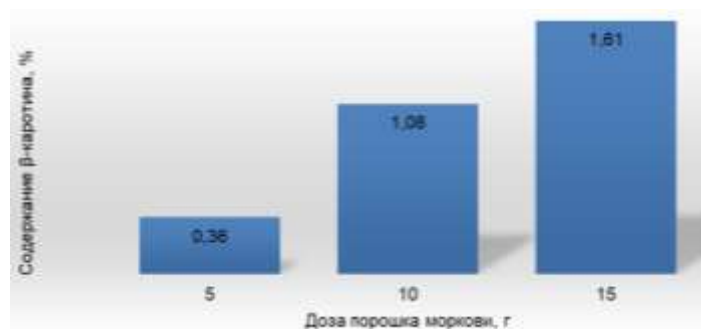


Рисунок 3 – Зависимость содержания β-каротина от дозы порошка моркови

Figure 3 – Dependence of the beta-carotene content on the dose of carrot powder

Анализ данных рисунка показывает, что при увеличении дозы порошка моркови с 5 до 10 г на 300 г сыра содержание β-каротина увеличивалось на 0,72 мг/%, а при увеличении соответственно с 10 до 15 – на 0,53 мг/%. Прирост β-каротина при увеличении дозы с 5 до 10 г больше на 0,19 мг/%, чем при увеличении дозы с 10 до 15 г порошка моркови,

что свидетельствует о больших потерях β-каротина при внесении высоких доз наполнителя, превышающих возможность сырного теста поглощать порошок моркови, часть которого остается в сыворотке.

В таблице 4 представлены результаты микробиологических исследований образцов ИК-сушеной моркови и вариантов сыра.

Таблица 4 – Результаты микробиологических исследований образцов ИК-сушеной моркови и вариантов сыра

Table 4 – Results of microbiological studies of samples of dried carrot eggs and cheese variants

Заявлено	Результаты					
	БГКП			<i>Salmonella</i>	<i>S. aureus</i>	Плесени
	10 ¹	10 ²	10 ³			
Морковь ИК-сушка	–	–		не обнаружено	не обнаружено	2,5×10
Сыр мягкий (без добавок)	–	–	–	не обнаружено	не обнаружено	н/р
Сыр мягкий + 5 г сушеной моркови	–	–	–	не обнаружено	не обнаружено	н/р
Сыр мягкий + 10 г сушеной моркови	–	–	–	не обнаружено	не обнаружено	н/р
Сыр мягкий + 15 г сушеной моркови	–	–	–	не обнаружено	не обнаружено	н/р
1.2.6.1 Сыры (твердые, полутвердые, рассольные, мягкие)	Не определяют			в 25	не более 500 КОЕ/г	

Примечание: н/р – нет роста

Микробиологические исследования на соответствие НД вновь созданного продукта показали, что сыр не представляет опасности для здоровья человека. Не выявлены санитарно-показательные микроорганизмы – бактерии группы кишечной палочки, условно патогенные бактерии *Staphylococcus aureus* и патогенные род *Salmonella*. Численность микроорганизмов порчи – плесневые грибы – находилась ниже требуемого предела. Низкие значения исследованных микробиологических показателей объясняются стерилизующим действием ИК излучения при сушке кусочков моркови и высокой температурой (95±2 °С) смеси получения сырного зерна с молочной сывороткой.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании проведенных исследований характеристик качества (органолептических, физико-химических и микробиологических) мягкого сыра с порошком моркови установлено:

- для его изготовления целесообразно использовать мелкодисперсный порошок моркови, полученный ИК-сушкой кусочков моркови и их тонким измельчением на мельнице ударного воздействия, который добавляли в смесь сырного зерна с молочной сывороткой температурой (95±2) °С, что позволило обеспечить микробиологическую безопасность сыра;

- доза вносимого порошка моркови составляла от 5 до 10 г на 300 г сыра, что обеспечивает 15 % суточной потребности в β-каротине при сохранении хороших органолептических показателей мягкого сыра с повышенной пищевой и физиологической ценностью функционального назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ рынка мягких сыров в России в 2012–2017 гг., прогноз на 2018–2021 гг. URL : <https://Busines Startservice>. (Дата обращения: 27.01.2023).
2. Сурай Н.М. Маркетинговый анализ регионального рынка сыра / Н.М. Сурай, Ф.Ф. Стерликов,

- А.А. Майоров // Экономика и управление народным хозяйством. 2017. № 4. С. 64–69.
3. Полная медицинская энциклопедия. М. : Мир книги, 2006.
4. Эрудит. Биология. М. : Мир книги, 2007.
5. Аравина К.И., Арсеньева Т.П. Разработка состава и технологии мягкого сырного продукта с использованием высокобелковой муки амаранта / К.И. Аравина, Т.П. Арсеньева // НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 2016, № 4. С. 21–25.
6. Ходунова О.С., Силантьева Л.А. Разработка состава и технологии мягкого сыра с пророщенными зернами овса // НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 2016, № 1. С. 100–105.
7. Меренкова С.П., Фильков А.А. Разработка технологии сыров, обогащенных ореховой смесью // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 2021, № 4. С. 34–42.
8. Обоснование и разработка технологии сырного продукта с применением муки амаранта / М.Г. Сысоева [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 5 (19). С. 64–72.
9. Разработка и производство сырных продуктов с растительными компонентами / А.Ю. Рудакова, Л.А. Забодалова, О.П. Серова // НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 2014, № 1. С. 1–5.
10. Новикова В.П. Разработка технологии сыра на основе творога с добавкой из растительного сырья. Дальневосточный федеральный университет, Владивосток. 2020, 104 с.
11. Использование ягодного сырья в технологии мягкого сыра функционального назначения / А.В. Борисова, А.А. Рузьева, А.М. Тяглова, К.В. Поликарпова // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 1. С. 11–20.
12. Исследование и разработка способов получения кормовых сахаропроductов из зерновых культур в СИБНИИП СФНЦА РАН : монография / С.К. Волончук [и др.]. РАН СФНЦА, СибНИТИП. Новосибирск. 2020. 116 с.
13. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» от 18 декабря 2008 г. (МР 2.3.1.2432-08).
14. Научные принципы обогащения пищевых продуктов микронутриентами / А.А. Кухаренко [и др.] // Пищевая промышленность. 2008. № 5. С. 62–64.
15. Функциональные продукты питания / А.Д. Дурнев, Л.А. Оганесянц, А.Б. Лисицин // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. № 9. С. 10–20.
16. Функциональные пектиносодержащие продукты при синдроме кишечной недостаточности / П.А. Двоеносова [и др.] // Пищевая промышленность. 2009. № 6. С. 54–55.
17. Effects of carrot incorporation and high hydrostatic pressure processing on fresh cheese: Antilisterial activity, carotenoid degradation, and sensory characteristics / Eduardo HM Walter, Elisa Helena da Rocha Ferreira, Ju.lia H Tiburski, Rosires Deliza, Ronoel Luiz de Oliveira Godoy and Amauri Rosenthal // Food Science and Technology International. 2019. 25(7). 597–607. DOI: 10.1177/1082013219843394 journals.sagepub.com/home/fst.
18. Абдижаппарова Б.Т. [и др.]. Получение сыра брынзы с морковью // Вестник алматинского технологического университета выпуск. 4 (125). С. 41–48.
19. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания : справочник. М. : ДеЛи плюс, 2012. 284 с.
20. Рациональные нормы потребления сыра в аспекте долголетия / С.В. Панасенко [и др.] // Сыроделие и маслоделие. 2022. № 3. С. 42–45.
21. Приказ Минздрава России № 614 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» // Вестник образования России. 2016. № 19.
22. Процеров Б.М. Динамика содержания каротина в квашеной и сушеной моркови. URL : <http://www.cyberleninka.ru/articlekarotinasushenoy-morkovi/> (дата обращения: 20.01.2023).
23. Mechanochemically Assisted Extraction. Enhancing Extraction Processes in the Food Industry / O. Lomovsky, I. Lomovsky. ed. by N. Lebovka, E. Vorobiev, F. Chemat // NY. London : CRC Press. 2011. P. 361–398

Информация об авторах

В. Б. Мазалевский – Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, РАН, старший научный сотрудник, канд. техн. наук.

С. К. Волончук – Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, РАН, младший научный сотрудник, канд. техн. наук, проф. РАЕ.

Г. П. Чекрыга – Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, РАН, ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук.

С. В. Станкевич – Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, научный сотрудник канд. с-х. наук.

Information about the authors

V.B. Mozalevskiy - Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences.

S.K. Volonchuk - Junior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Prof. RAE.

G.P. Chekryga - Leading Researcher, Candidate of Biological Sciences.

S.V. Stankevich - Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.859:546.15

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.015



УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ПАСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОСРЕДСТВОМ ОБОГАЩЕНИЯ ЙОДСОДЕРЖАЩИМ СЫРЬЕМ

Антонина Александровна Рядинская¹, Иван Александрович Кощаев²,
Сергей Александрович Чуев³, Кристина Витальевна Лавриненко⁴

^{1,2,3,4} Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, п. Майский, Россия

¹ antonina.yurchenko.63@mail.ru

^{2,3,4} info@bsaa.edu.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние функциональных ингредиентов на пищевую ценность, минеральный и витаминный состав разработанных пастильных изделий. Большая концентрация (более 15 %) углеводов, калия и железа наблюдалась в контрольном образце – пастиле из печеных яблок, что обеспечило оптимальное содержание биологически активных веществ в конечных продуктах, обогащенных различными растительными добавками с биодоступным йодом.

По содержанию белков и энергетической ценности отличилась фруктовая пастила с морской водорослью нори: 6,0 г/100 г и 350 кКал/100 г соответственно. Углеводов было больше во фруктовой пастиле с морской водорослью ламинария: 83 г/100 г.

По накоплению калия, магния и железа выдвигалась фруктовая пастила с морской водорослью ламинария: 1213,73, 127,97 и 14,32 мг/100 г соответственно.

Витамина С было больше во фруктово-ягодной пастиле с клюквой – 15,09 мг/100 г. По содержанию рибофлавина (В₂) отличилась фруктовая пастила с морской водорослью нори – 0,29 мг/100 г.

По накоплению йода и меди отличилась фруктовая пастила с морской водорослью ламинария: 476,36 мкг/100 г и 0,28 мг/100 г соответственно. Цинка было больше во фруктово-ягодной пастиле с черникой – 0,27 мг/100 г.

Проведенные исследования позволили получить готовый продукт, обогащенный йодом, с функциональными свойствами и хорошими потребительскими свойствами.

Ключевые слова: пастильные изделия, яблочное пюре, клюква, черника, ламинария, нори, микроэлементы, йод.

Для цитирования: Улучшение свойств пастильных изделий посредством обогащения йодсодержащим сырьем / А. А. Рядинская [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 115–122. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.015. EDN: <https://elibrary.ru/GERYED>.

Original article

IMPROVING PROPERTIES OF PASTILLE PRODUCTS BY MEANS OF ENRICHMENT WITH IODINE-CONTAINING RAW MATERIALS

Antonina A. Ryadinskaya¹, Ivan A. Koshchaev²,
Sergey A. Chuev³, Kristina V. Lavrinenko⁴

^{1,2,3,4} Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, Maysky village, Russia

¹ antonina.yurchenko.63@mail.ru

^{2,3,4} info@bsaa.edu.ru

© Рядинская А. А., Кощаев И. А., Чуев С. А., Лавриненко К. В., 2023

Abstract. *The influence of functional ingredients on the nutritional value, mineral and vitamin composition of the developed pastilles is considered. A high concentration (more than 15 %) of carbohydrates, potassium and iron was observed in the control sample - a pastille of baked apples, which ensured the optimal content of biologically active substances in the final products enriched with various herbal supplements with bioavailable iodine.*

According to the content of proteins, fats and energy value, fruit pastille with nori seaweed was distinguished: 6,0 g/100 g and 350 kCal/100 g, respectively. Carbohydrates were more in the fruit pastille with seaweed la minaria: 83 g/100 g.

According to the accumulation of potassium, magnesium and iron, a fruit pastille with sea kelp was released: 1213.73, 127.97 and 14.32 mg/100 g, respectively.

Vitamin C was more in fruit and berry pastille with cranberries - 15.09 mg/100 g. According to the content of riboflavin (B2), fruit pastille with nori seaweed was distinguished - 0.29 mg/100 g.

According to the accumulation of iodine and copper, the fruit pastille with seaweed la minaria was distinguished: 476.36 mcg/100 g and 0.28 mg/100 g, respectively. There was more zinc in the fruit and berry pastille with blueberries - 0.27 mg/100 g.

The conducted research allowed us to obtain a finished product enriched with iodine, with functional properties and good consumer properties.

Keywords: pastille products, applesauce, cranberries, blueberries, kelp, nori, trace elements, iodine.

For citation: Ryadinskaya, A.A., Koshchaev, I.A., Chuev, S.A. & Lavrinenko, K.V. (2023). Improving properties of pastille products by means of enrichment with iodine-containing raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 115-122. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.015. <https://elibrary.ru/GERYED>.

ВВЕДЕНИЕ

Усилия современной науки направлены на поиск и разработку способов преодоления неполноценности рационов питания, создание и тиражирование современных технологий продуктов здорового питания, направленных на максимальное сохранение питательных веществ исходного сырья или обогащение продуктов эссенциальными компонентами.

Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 года предусматривает повышение объема производимых в стране функциональных продуктов [1–3]. Их регулярное потребление способствует предупреждению развития различных заболеваний [4, 5].

Питание играет большую роль в укреплении здоровья человека. Чрезвычайно важным элементом является йод. Согласно сведениям Всемирной организации здравоохранения, несмотря на значительные риски, связанные с дефицитом йода, его можно предотвратить.

В профилактике дефицита микроэлемента наблюдается переход к продуктам, обогащенным органическим йодом, биодоступность которого намного выше по сравнению с неорганической формой в составе пищевой йодированной соли на основе доступного пищевого продукта-носителя, химически и технологически совместимого с компонентом обогащающим.

В данном контексте наиболее эффективным представляется насыщение продук-

тов природными натуральными источниками йода, к которым относятся морские бурые водоросли и ягодное сырье, богатое йодом [1–3].

Пастильные изделия являются продуктами массового потребления. Традиционная пастила отличается низкой биологической ценностью [6].

С давних времен в пастилу добавляют ягоды – рябину, бруснику, малину – для обогащения витаминами, минералами и биологически активными ингредиентами [7].

Цель работы – изучение воздействия функциональных ингредиентов на изменение витаминного и минерального составов в разработанных пастильных изделиях для выработки на малых предприятиях.

Задачи исследований:

- выработка экспериментальных образцов пастильных изделий по разработанным рецептурам;

- анализ витаминного и минерального составов образцов пастильных изделий с добавлением ягод клюквы, черники; морских водорослей ламинария, норы.

МЕТОДЫ

Исследования проведены в лабораториях кафедры технологии производства и переработки технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ и направлены на улучшение качества готовых пастильных изделий.

Разработка относится к пищевой промышленности
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2023

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ПАСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОСРЕДСТВОМ ОБОГАЩЕНИЯ ЙОДСОДЕРЖАЩИМ СЫРЬЕМ

ленности, в частности к технологиям приготовления пастилы, и может быть использована в малых предприятиях кондитерской отрасли.

Соотношение рецептурных составляющих определено расчетным путем, исходя из содержания йода в растительном сырье достаточного для обеспечения готовой продукции количеством йода, соответствующего суточной физиологической нормы потребления йода (150 мкг).

Полученные в ходе исследования данные подвергались компьютерной обработке в средах «STATISTIKA 7.0» и Microsoft Office Excel.

Изготовление экспериментальных образцов пастильных изделий выполнено в соответствии с технологической схемой (рис. 1).

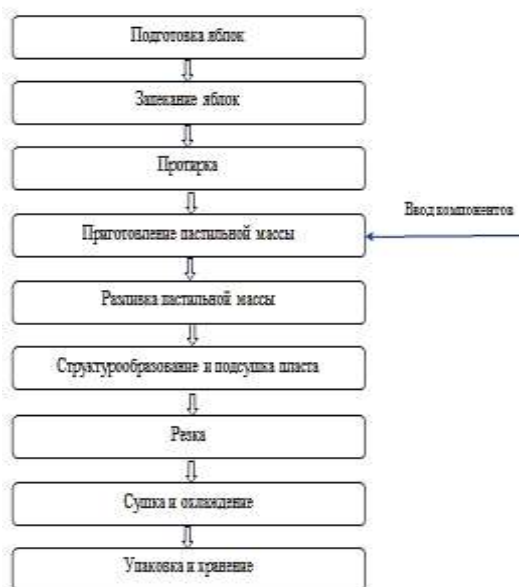


Рисунок 1 – Процесс приготовления экспериментальных образцов пастильных изделий

Figure 1 – The process of preparing experimental samples of pastille products

В работе исследованы следующие образцы:

– образец № 1 – контрольный – пастильное изделие без добавок – фруктовая пастилла;

– образец № 2 – пастильное изделие с содержанием 50 % пюре ягод клюквы – фруктово-ягодная пастилла с клюквой;

– образец № 3 – пастильное изделие с добавлением 50 % пюре ягод черники – фруктово-ягодная пастилла с черникой;

– образец № 4 – пастильное изделие с содержанием 2 % морской водоросли ламинария – фруктовая пастилла с морской водорослью ламинария;

– образец № 5 – пастильное изделие с со-

держанием 2 % морской водоросли нори – фруктовая пастилла с морской водорослью нори.

В качестве основных компонентов использовали: сортосмесь яблок местного производства, приобретенные в розничной сети ягоды голубики и черники; морские водоросли ламинария и нори. Использовали сырье богатое компонентами с железирующими свойствами [8].

Проведенные ранее исследования [9] по изучению технологических свойств плодов яблони отдельных сортов осеннего и зимнего сроков созревания, полученных в условиях Белгородской области, показали их пригодность для переработки на пищевые цели.

Ягоды клюквы обладают разнообразной биохимической характеристикой. Они содержат большой набор органических кислот, служат ценным источником фенольных и полифенольных соединений – биофлавоноидов: антоцианов, лейкоантоцианов, катехинов, флавонолов и фенолокислот, накапливают танин.

В клюкве обнаружены калий, натрий, магний, фосфор, кальций, йод, барий, бор, кобальт, никель, олово, свинец, серебро, титан, хром, цинк, алюминий.

Из витаминов присутствуют: аскорбиновая кислота, провитамин А, витамин Е, каротин, рибофлавин, пантотеновая кислота, пиридоксин, фолиевая кислота, никотиновая кислота [10, 11–13].

Ягоды черники имеют уникальный химический состав. В их составе выявлены 14 антоциановых соединений, незаменимые органические кислоты, минералы: соли железа, калия, марганца, меди, серы, фосфора, хрома и цинка, йод. Ягоды черники накапливают каротин (провитамин А), витамины группы В, витамины С и РР, дубильные вещества, спирты и эфирное масло [1, 14, 15].

Морские водоросли – ценный источник биодоступных биоактивных соединений йода, физиологически функциональных пищевых ингредиентов: полисахаридов, витаминов, минералов, пигментов, ферментов, белков и пептидов, липидов и полиненасыщенных жирных кислот, фенолов. Кроме того, они являются источником белка с высокой биологической ценностью.

Морские водоросли – перспективное функциональное сырье, применение в пищевой промышленности которого обеспечивает разработку новых обогащенных и функциональных продуктов, удовлетворяющих концепции «хватай на ходу» («grabtogo»). Например, их активно используют для обогащения полезными веществами экструдированных закусок, печенья, макарон, йогуртов, хлебных палочек [1–3].

Пастильные изделия широко ценятся потребителем и являются перспективным средством доставки витаминов и минералов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После изготовления экспериментальных образцов пастильных изделий определены качественные свойства готового продукта.

Выполнена оценка пищевой и энергетической ценности, минерального и витаминного составов.

Концентрация белков составила от 2,5 г во фруктовой пастиле и в фруктово-ягодной пастиле с клюквой до 6,0 г во фруктовой пастиле с морской водорослью нори (табл.1).

Таблица 1 – Пищевая и энергетическая ценность экспериментальных образцов пастильных изделий (в расчете на 100 г продукта)

Table 1 – Nutritional and energy value of experimental samples of pastille products (per 100 g of product)

Образец	Пищевая ценность (г)			Энергетическая ценность (кКал)
	Белки	Жиры	Углеводы	
1	2,5	1,0	79	330
2	2,5	1,0	47	200
3	3,0	0,5	59	250
4	3,5	1,0	83	350
5	6,0	1,0	80	350

Использование черники способствовало практически двукратному снижению содержания жиров в экспериментальном образце пастильного изделия. Наивысшая концентрация жиров отмечена во фруктовой пастиле с морской водорослью нори. В других экспериментальных образцах пастильных изделий значение показателя значительно не отличался.

Содержание углеводов изменялось от 47 г во фруктово-ягодной пастиле с клюквой до 83 г – во фруктовой пастиле с морской водорослью ламинария. Замена яблочного сырья на ягодное позволило снизить значение показателя практически на треть.

Энергетическая ценность экспериментальных образцов пастильных изделий в расчете на 100 г продукта составила от 200 кКал в фруктово-ягодной пастиле с клюквой до 350 кКал – во фруктовой пастиле с морскими водорослями.

Рассмотрен макроэлементный состав экспериментальных образцов пастильных изделий (таблица 2).

Таблица 2 – Макроэлементный состав экспериментальных образцов пастильных изделий (в расчете на 100 г продукта)

Table 2 – Macronutrient composition of experimental samples of pastille products (per 100 g of product)

Образец	Макроэлементы (мг)					
	Na	K	Ca	Mg	P	Fe
1	4,55 ± 0,21	563,64 ± 28,17	48,00 ± 2,30	27,68 ± 1,37	67,23 ± 3,36	5,14 ± 0,24
2	4,55 ± 0,21	552,27 ± 27,61	52,00 ± 2,60	43,50 ± 2,17	55,36 ± 2,75	3,76 ± 0,18
3	4,55 ± 0,21	404,55 ± 20,21	40,00 ± 1,9	23,73 ± 1,17	55,36 ± 2,77	2,93 ± 0,13
4	374,73 ± 18,72	1213,73 ± 60,65	72,08 ± 3,61	127,97 ± 6,38	98,86 ± 4,93	14,32 ± 0,70
5	95,36 ± 4,75	676,27 ± 33,81	56,64 ± 2,81	42,55 ± 2,13	75,21 ± 3,75	7,25 ± 0,35

По концентрации макроэлементов лучший результат у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария. Из экспериментальных образцов пастильных изделий с добавлением ягод более высокое содержание Na, K, Ca, Mg, P и Fe при использовании ягод клюквы. По содержанию P и Fe контрольный образец пастильного изделия значительно превзошел экспериментальные с добавлением ягод.

Проанализирован витаминный состав экспериментальных образцов пастильных изделий (таблица 3).

Таблица 3 – Витаминный состав экспериментальных образцов пастильных изделий (в расчете на 100 г продукта)

Table 3 – Vitamin composition of experimental samples of pastille products (per 100 g of product)

Образец	Витамины (мг)				
	C	B ₁	B ₂	PP	A (мкг)
1	2,91± 0,13	0,03± 0,002	0,07± 0,004	1,45± 0,07	10,91± 0,53
2	15,09± 0,75	0,05± 0,003	0,07± 0,004	1,27± 0,06	56,36± 2,82
3	3,91± 0,18	0,07± 0,004	0,10± 0,004	1,67± 0,08	9,09± 0,45
4	2,85± 0,14	0,05± 0,003	0,10± 0,004	1,63± 0,07	12,10± 0,61
5	2,86± 0,15	0,16± 0,01	0,29± 0,02	2,30± 0,12	12,80± 0,64

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ПАСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОСРЕДСТВОМ ОБОГАЩЕНИЯ ЙОДСОДЕРЖАЩИМ СЫРЬЕМ

По накоплению витаминов С и А лучший показатель у фруктово-ягодной пастилы с клюквой, витаминов группы В и витамина Р – у фруктовой пастилы с морской водорослью нори.

Изучен микроэлементный состав экспериментальных образцов пастильных изделий (табл. 4).

Таблица 4 – Микроэлементный состав экспериментальных образцов пастильных изделий (в расчете на 100 г продукта)

Table 4 – Trace element composition of experimental samples of pastille products (per 100 g of product)

Образец	Микроэлементы (мг)			
	J (мкг)	Se (мкг)	Cu	Zn
1	4,55± 0,23	0,01± 0,0004	0,005± 0,0003	0,36± 0,02
2	20,34± 1,02	0,68± 0,03	0,20± 0,01	0,31± 0,02
3	37,50± 1,87	0,77± 0,03	0,16± 0,01	0,27± 0,01
4	476,36± 23,80	1,32± 0,07	0,28± 0,01	0,94± 0,05
5	280,91± 14,04	1,50± 0,08	0,25± 0,01	0,005± 0,003

По содержанию J, Cu и Zn лучший показатель у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария, Se – у фруктовой пастилы с морской водорослью нори.

ОБСУЖДЕНИЕ

Рассчитан нутриентный баланс экспериментальных образцов пастильных изделий в зависимости от физиологической нормы потребления полезных для организма человека веществ и соединений.

Обеспечение белком варьировало от 3,22 % у фруктово-ягодной пастилы с клюквой до 8,12 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью нори.

Насыщенность жиром изменялась от 0,48 % у фруктово-ягодной пастилы с черникой до 1,14 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью нори.

Обеспечение углеводами зафиксировано от 12,9 % у фруктово-ягодной пастилы с клюквой до 22,7 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария (рис. 2).

Насыщенность энергией составила от 8,18 % у фруктово-ягодной пастилы с клюквой до 14,14 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью нори.

Обеспечение Na изменялось от 0,11 % у фруктовой пастилы без добавок и фруктово-ягодной пастилы до 9,37 % – фруктовой пастилы с морской водорослью нори.

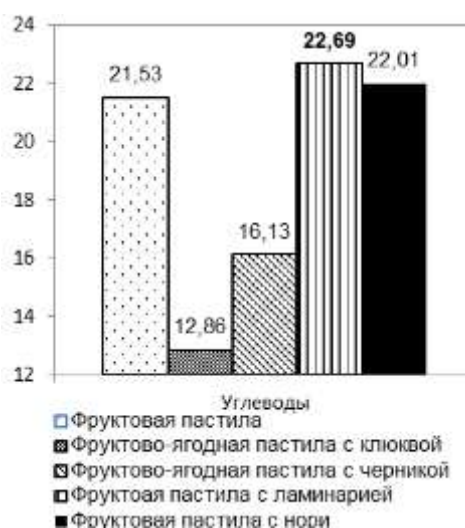


Рисунок 2 – Обеспеченность углеводами экспериментальных образцов пастильных изделий (в расчете на 100 г продукта)

Figure 2 – Carbohydrate availability of experimental samples of pastille products (per 100 g of product)

Насыщенность K составила от 14,43 % у фруктово-ягодной пастилы с черникой до 43,35 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария (рис. 3).

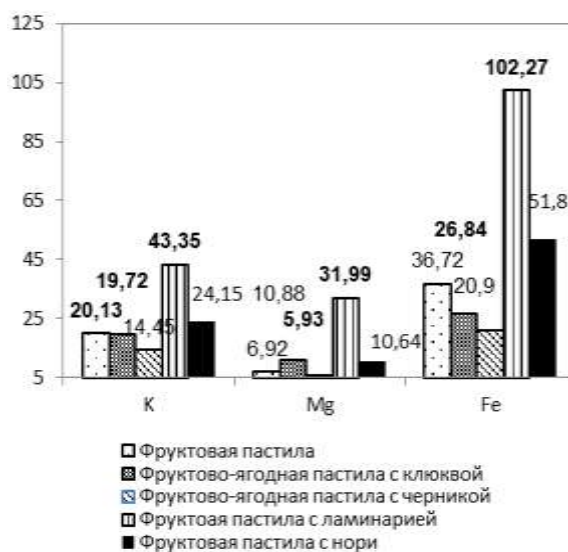


Рисунок 3 – Обеспеченность отдельными макроэлементами экспериментальных образцов пастильных изделий (в расчете на 100 г продукта)

Figure 3 – Availability of individual macronutrients of experimental samples of pastille products (mg per 100 g of product)

Обеспечение Ca варьировало от 5,00 % у фруктово-ягодной пастилы с черникой до 9,10 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария.

Насыщенность Mg изменялась от 6,92 % у фруктовой пастилы без добавок до 31,99 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария.

Обеспечение Р зафиксировано от 4,61 % у фруктово-ягодной пастилы с клюквой и фруктово-ягодной пастилы с черникой до 8,24 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария.

Насыщенность Fe составила от 20,90 % у фруктово-ягодной пастилы с черникой до 102,27 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария.

Обеспечение витамином С изменялось от 4,07 % у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария до 21,56 % – у фруктово-ягодной пастилы с клюквой (рис. 4).

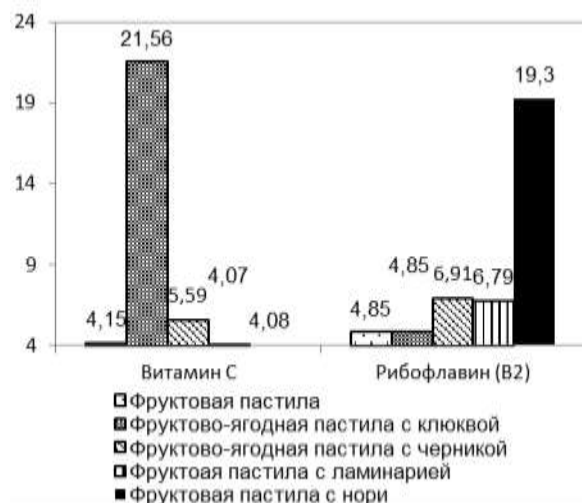


Рисунок 4 – Обеспеченность витамином С экспериментальных образцов пастильных изделий (в расчете на 100 г продукта)

Figure 4 – Vitamin C availability of experimental samples of pastille products (per 100 g of product)

Насыщенность витамином В₂ изменялась от 4,83 % у фруктовой пастилы и фруктово-ягодной пастилы с клюквой до 19,30 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью нори.

Обеспечение В₁ варьировало от 2,52 % у фруктовой пастилы до 12,54 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью нори.

Насыщенность ниацином (РР) изменялась от 7,95 % у фруктовой пастилы и у фруктово-ягодной пастилы с клюквой до 14,36 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью нори.

Обеспечение провитамином А зафиксировано от 1,01 % у фруктово-ягодной пастилы с черникой до 6,26 % – у фруктово-ягодной пастилы с клюквой.

Насыщенность J составила от 3,03 % у фруктовой пастилы до 317,58 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария (рис. 5).

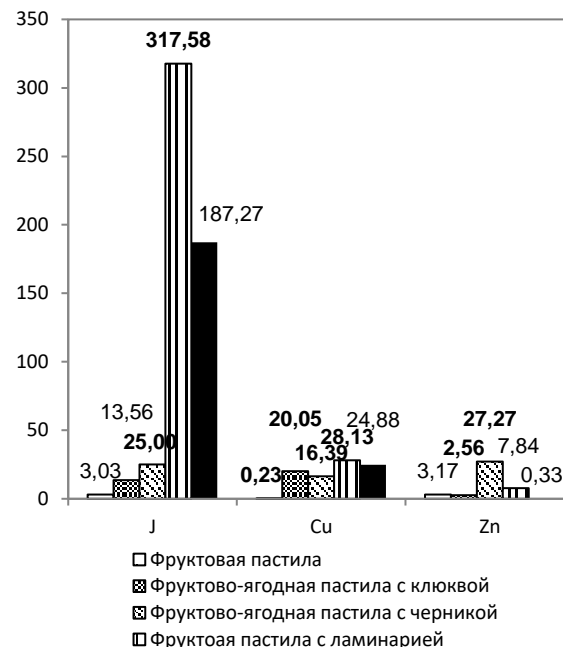


Рисунок 5 – Обеспеченность отдельными микроэлементами экспериментальных образцов пастильных изделий (в расчете на 100 г продукта)

Figure 5 – Availability of individual trace elements of experimental samples of pastille products (per 100 g of product)

Обеспечение Cu составило от 0,23 % у фруктовой пастилы до 28,13 % – у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария.

Насыщенность Zn варьировала от 0,33 % у фруктовой пастилы с морской водорослью ламинария до 27,27 % – у фруктово-ягодной пастилы с черникой.

ВЫВОДЫ

Результатом проведенных испытаний стала разработка рецептур пастильных изделий с улучшенными свойствами. Проведена опытная выработка. Выполнен анализ состава полученных экспериментальных образцов.

Определено, что добавление ягод клюквы или черники, морских водорослей ламинария или нори способствовало обогащению полезными для человека веществами яблочной пастилы. Включение данных компонентов обеспечивало увеличение концентрации йода в продукте. Зафиксировано повышение питательной ценности пастилы.

Получены функциональные пищевые продукты, содержащие йод в биодоступной

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ПАСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОСРЕДСТВОМ ОБОГАЩЕНИЯ ЙОДСОДЕРЖАЩИМ СЫРЬЕМ

форме, рекомендованное ежедневное потребление которых может способствовать профилактике ряда заболеваний, связанных с дефицитом витаминов и минералов, в том числе йододефицитных состояний и, следовательно, здоровому питанию.

Готовая пастила помимо функциональных свойств обладала яркими потребительскими показателями: обладала приятным светло-коричневым цветом, глянцевой поверхностью и гармоничным вкусом.

Функциональная направленность продукта выразилась насыщенностью теми или иными полезными веществами более 15 % (ГОСТ Р 56145-2014).

Фруктовая пастила в расчете на 100 г отличалась способностью обеспечить углеводами на 21,53 %, калием – 20,13 %, железом – 36,72 %.

Фруктово-ягодная пастила с добавлением клюквы в расчете на 100 г характеризовалась насыщенностью калием в объеме 19,72 %, железом – 26,84 %, витамином С – 21,56 %, медью – 20,05 %.

Фруктово-ягодная пастила с обогащением черникой в расчете на 100 г отличалась способностью обеспечить углеводами на 16,13 %, железом – 20,90 %, йодом – 25,00 %, медью – 16,39 %, цинком – 27,27 %.

Фруктовая пастила с добавлением морской водоросли ламинария в расчете на 100 г характеризовалась насыщенностью углеводами в объеме 22,69 %, калием – 43,35 %, магнием – 31,99 %, железом – 102,27 %, йодом – 317,58 %, медью – 28,13 %. Исходя из содержания йода, рекомендуемая норма потребления продукта не может превышать 31,5 г.

Фруктовая пастила с обогащением морской водорослью нори в расчете на 100 г отличалась способностью обеспечить углеводами на 22,01 %, калием – 24,15 %, железом – 51,80 %, рибофлавином (В₂) – 19,30 %, йодом – 187,27 %, медью – 22,88 %. Исходя из содержания йода, рекомендуемая норма потребления продукта не может превышать 53,4 г.

Разработанные образцы пастильных изделий с применением растительного йодсодержащего сырья способствуют расширению ассортимента иммуностимулирующих кондитерских изделий для специального и лечебно-профилактического назначения, массового потребления.

Обогащение выбранными ингредиентами: ягодами клюквы, черники, морскими водорослями ламинария и нори – ввиду богатого витаминного и минерального состава способствуют повышению функциональности пастилы из печеных яблок. Перечисленные

растительные компоненты можно рекомендовать для применения в приготовлении пастильных изделий: ягоды в объеме 50 % от общей массы основного плодового сырья, морские водоросли – 2 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савкина, К.Н. Проблема йододефицита в питании современного человека: обзор современных подходов к ее решению / К.Н. Савкина, Ю.В. Шокина // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. 2022. № 1. С. 63–73. EDN HOXIZG.
2. Подкорытова А.В., Рощина А.Н. Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения // Труды ВНИРО. 2021. Т. 186, № 4. С. 156–172. DOI: <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2021-186-156-172>. EDN: OSXXMZ.
3. Волощенко Л.В., Шевченко Н.П. Ламинария как йодсодержащий компонент при производстве функционального продукта // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12–5(66). С. 68–72. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.143. EDN: TBVIQY.
4. Органолептические, физико-химические и антиоксидантные свойства снеков на основе черники (*Vaccinium myrtillus*) / Е.А. Васильева, Е.А. Елисеева, Д.Ф. Игнатова, Н.В. Макарова // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 3. С. 102–117. DOI 10.36107/spfp.2020.226.EDN VRAGRK.
5. Изучение влияния функциональных ингредиентов на витаминный состав иммуностимулирующих пастиломармеладных изделий / Ю.Г. Пронина, Ж.С. Набиева, О.Д. Белозерцева, А.И. Самадун // Вестник Алматинского технологического университета. 2022. № 3. С. 177–185. DOI 10.48184/2304-568X-2022-3-177-185. EDN ILSMYX.
6. Разработка рецептуры и технологии производства пастилы, обогащенной виноградными выжимками / А.А. Тягушева, Т.В. Першакова, Е.С. Семиряжко, Е.Н. Карпенко // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2021. Т. 33. С. 128–133. DOI 10.30679/2587-9847-2021-33-128-133. EDN XYIVNA.
7. Кинетика удаления воды в процессе сушки тыквенного и яблочного сырья при изготовлении бесклеевой пастилы / С.А. Соколова [и др.] // Агрпромышленные технологии Центральной России. 2019. № 3(13). С. 37–44. DOI 10.24888/2541-7835-2019-13-37-44. EDN NYZCVL.
8. Содержание пектиновых веществ в плодах яблони в условиях центрально-черноземной зоны России / М.А. Макаркин [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2010. Т. 45. № 5. С. 23–26. EDN MWMJXL.
9. Исследование технологических свойств яблок и пригодности их для переработки / А.А. Рядинская [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 1. С. 56–64. EDN OQOQMP.
10. Лютикова М.Н., Ботиров Э.Х. Химический состав и практическое применение ягод брусники и

клюквы // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 5–27. EDN VCLMXZ.

11. Наумова Н.Л., Бец Ю.А. Изучение пищевой ценности вяленых ягод клюквы, малины, земляники // Вестник КрасГАУ. 2022. № 10(187). С. 179–186. DOI 10.36718/1819-4036-2022-10-179-186. EDN: XTIDWS.

12. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства / М.Ю. Акимов [и др.] // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 220–232. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10055.

13. Горбунов А.Б., Кукушкина Т.А. Динамика химического состава ягод интродуцированных сортов и форм клюквы в условиях Центрального сибирского ботанического сада СО РАН // Химия растительного сырья. 2021. № 4. С. 241–249. DOI: 10.14258/jcprtm.2021048977.

14. Типсина, Н.Н., Яковчик Н.Ю. Исследование черники // Вестник КрасГАУ. 2013. № 11(86). С. 283–285. EDN: SCVJCR.

15. Никольская О.М., Степанов А.В. Использование растительных компонентов в рецептуре полуфабрикатов в тесте // Молодежь и наука. 2019. № 3. С. 78. EDN: JZTQRT.

Информация об авторах

А. А. Рядинская – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

И. А. Кощачев – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной

продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

С. А. Чуев – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

К. В. Лавриненко – преподаватель кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

Information about the authors

A.A. Ryadinskaya - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University (e-mail: antonina.yurchenko.63@mail.ru).

I.A. Koshchayev - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Faculty of Technology of the Belgorod State Agrarian University.

S.A. Chuev - Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

K.V. Lavrinenko - lecturer of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.661.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.016

 EDN: GIGAZX

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АПИПРОДУКТОВ

Светлана Ивановна Конева ¹, Александра Сергеевна Захарова ²,
Лариса Егоровна Мелёшкина ³

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

¹ skoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

² zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>

³ meleshkina_le@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0812-3630>

Аннотация. Целью работы являлось проектирование рецептуры и технологии хлебо-булочных изделий с применением апипродуктов (цветочной пыльцы-обножки). В работе использовались стандартные и общепринятые методики. Пыльца-обножка является уникальным источником биологически активных веществ, в ее состав входят белковые вещества, незаменимые аминокислоты, ферменты, фитогормоны, пищевые волокна, в значительных количествах содержатся флавоноидные соединения, витамины В1, В2, Е, РР, β-каротин. Из минеральных элементов высоко содержание магния, фосфора, железа, цинка, селена, меди. Для обоснования применения пыльцы-обножки в технологии хлебобулочных изделий исследован ход технологического процесса, органолептические и физико-химические показатели качества хлеба. Установлено, что добавление пыльцы-обножки приводит к форсированию процесса созревания теста за счет наличия в составе пыльцы-обножки значимого количества сахаров, витаминов и минеральных элементов, что вызывает необходимость сокращения продолжительности брожения теста на 30–40 минут и расстойки тестовых заготовок на 5–15 минут. Доказано положительное влияние пыльцы-обножки на физико-химические показатели и цвет корки, состояние мякиша, вкус и запах изделий. Употребление хлеба с добавлением 8 % пыльцы-обножки, приготовленного по разработанной рецептуре и технологии, покрывает 18 % нормы суточной потребности в пищевых волокнах, более 20 % от суточной потребности витамина В1, более 50 % от суточной потребности витамина Е, более 40 % от суточной потребности β-каротина и флавоноидных соединений.

Ключевые слова: пыльца-обножка, обогащенная продукция, физиологически функциональный ингредиент, параметры технологического процесса, продолжительность брожения, расстойка, кислотность теста, качество хлеба, рецептура, суточная потребность.

Благодарности: авторы благодарят за финансовую поддержку Минобрнауки РФ (тема № 075-00316-20-01, FZMM2020-0013, мнемокод 0611-2020-013).

Для цитирования: Конева С. И., Захарова А. С., Мелёшкина Л. Е. Проектирование рецептуры и технологии хлебобулочных изделий с применением апипродуктов // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 123–128. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.014. EDN: <https://elibrary.ru/GIGAZX>.

Original article

DESIGN THE RECIPE AND TECHNOLOGY OF BAKERY PRODUCTS USING APIPRODUCTS

Svetlana I. Koneva ¹, Alexandra S. Zakharova ², Larisa E. Meleshkina ³

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

¹ skoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

² zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>

³ meleshkina_le@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0812-3630>

© Конева С. И., Захарова А. С., Мелёшкина Л. Е., 2023

Abstract. The aim of the work was to design the recipe and technology of bakery products using apiproducs (flower pollen-obnozhki). Standard and generally accepted methods were used in the work. Pollen is a unique source of biologically active substances, it includes protein substances, essential amino acids, enzymes, phytohormones, dietary fiber, flavonoid compounds, vitamins B1, B2, E, PP, beta-carotene in significant quantities. Of the mineral elements, the content of magnesium, phosphorus, iron, zinc, selenium, copper is high. To substantiate the use of pollen in the technology of bakery products, the course of the technological process, organoleptic and physico-chemical indicators of the quality of bread were studied. It was found that the addition of pollen-obnozhki leads to the acceleration of the maturation process of the dough due to the presence of a significant amount of sugars, vitamins and mineral elements in the composition of pollen-obnozhki, which causes the need to reduce the duration of fermentation of the dough by 30-40 minutes and proofing the dough pieces for 5-15 minutes. The positive effect of pollen on the physico-chemical parameters on the appearance, the color of the crust, the condition of the crumb, the taste and smell of products has been proven. The consumption of bread with the addition of 8 % pollen, prepared according to the developed recipe and technology, covers 18 % of the daily requirement for dietary fiber, more than 20 % of the daily requirement of vitamin B1, more than 50 % of the daily requirement of vitamin E, more than 40 % of the daily requirement of beta-carotene and flavonoid compounds.

Keywords: pollen, enriched products, physiologically functional ingredient, process parameters, fermentation duration, proofing, dough acidity, bread quality, recipe, daily requirement.

Acknowledgements: This work was supported by the project 075-00316-20-01 (FZMM-2020-0013, mnemocode 0611-2020-013) from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation».

For citation: Koneva, S.I., Zakharova, A.S. & Meleshkina, L.E. (2023). Design the recipe and technology of bakery products using apiproducs. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 123-128. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.016. <https://elibrary.ru/GIGAZX>.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире совершенствование структуры питания населения и повышение качества пищевых продуктов – одна из наиболее важных и приоритетных задач, так как проблема неполноценного питания носит международный характер, а потребляемые продукты питания не полностью удовлетворяют физиологическим потребностям человека. Из-за неполноценного питания повышается риск возникновения наиболее распространенных алиментарно-зависимых заболеваний: сахарного диабета сердечно-сосудистых заболеваний, болезней желудочно-кишечного тракта и желчевыводящих путей, заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Хлебобулочные изделия, традиционно занимающие значительную нишу в структуре питания населения Российской Федерации, являются объектами для обогащения их физиологически функциональными пищевыми ингредиентами (веществами, обладающими способностью оказывать благоприятный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена веществ в организме человека при систематическом употреблении в количествах, составляющих от 10 % до 50 % от суточной физиологической потребности), что позволяет расширить ассортимент и повысить пищевую ценность этой группы изделий.

Апипродукты – это продукция пчеловодства, которая традиционно используется человеком в пищевых и медицинских целях, оказывает благотворное воздействие на здоровье человека.

Цветочная пыльца-обножка представляет собой разноцветные гранулы, которые отличаются по цвету, форме и составу. Гранулы состоят из пылевых зерен, которые были собраны пчелами и склеены секретами пчелиных желез и цветочным нектаром. Химический состав пыльцевой обножки зависит от места, условий и времени сбора (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав цветочной пыльцы

Table 1 – Chemical composition of flower pollen [1]

Показатели	Массовая доля, %	
	Новосибирская обл.	Алтайский край
1	2	3
Влага	9,56	9,17
Белки	22,48	23,62
Липиды	8,23	10,02
Углеводы, в т.ч.:	53,03	50,32
Моносахара	31,12	30,8
Сахароза	6,4	7,4
Клетчатка	15,51	12,12

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АПИПРОДУКТОВ

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3
Органические кислоты, % по яблочной кислоте	3,56	3,67
Макроэлементы, мг/100г:		
K	345	355
Ca	218	230
Mg	220	250
P	480	500
Микроэлементы, мкг/100 г:		
Fe	10,20	10,38
Zn	4,89	5,59
Mn	7,05	7,20
Cu	0,76	0,97
Cr	0,87	0,85

В состав пыльцевой обножки входят более 250 компонентов: белки, сахара, липиды, незаменимые аминокислоты, витамины, минеральные вещества, ферменты, богата она флавоноидами, каротиноидами, в ее составе имеются фитогормоны, стимуляторы роста, фитонциды. Необходимо отметить наличие в пыльце-обножке органических кислот, особенно наличие молочной кислоты, являющихся важными технологическими веществами, принимающими активное участие в процессах образования теста [2, 3, 4].

Учеными различных стран доказано, что употребление пыльцевой обножки человеком в пищу повышает количество эритроцитов, лейкоцитов и содержание гемоглобина в крови, восстанавливает нарушенный обмен веществ. Флавоноиды пыльцы-обножки участвуют во многих процессах, протекающих в организме, – оказывают антиоксидантное действие, снижают свертываемость крови, улучшают обменные процессы [5, 6].

В научной литературе имеются данные, доказывающие возможность и целесообразность применения данного вида сырья в производстве мучных изделий [7, 8, 9]. Однако исследований по изучению влияния пыльцевой обножки как рецептурного компонента при производстве хлебобулочных изделий из смеси пшеничной и ржаной муки проведено недостаточно.

Целью представленной работы являлось проектирование рецептуры и технологии хлебобулочных изделий с добавлением пыльцы-обножки для создания рациональной рецептуры, обеспечивающей высокий уровень адекватности комплекса свойств хлебобулочного изделия требованиям потребителя по органолептическим и физико-химическим показателям, а также по величинам содержания нутриентов.

Для достижения поставленной цели было исследовано влияние пыльцы-обножки на ход

технологического процесса, органолептические и физико-химические показатели качества хлеба, определена пищевая ценность изделия по рациональной рецептуре.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ

В качестве объектов исследования использовали хлеб, приготовленный из смеси пшеничной и ржаной муки в соотношении 70:30. Пыльцу-обножку вносили на этапе приготовления теста в количестве от 2 до 10 % взамен пшеничной муки.

Гранулы пыльцы-обножки предварительно измельчали на лабораторной мельнице до крупности, соответствующей проходу через сито с размером ячеек 0,5 мм.

Тесто замешивали на жидкой ржаной закваске спонтанного брожения (влажность закваски 70 %, кислотность 8,0 град, подъемная сила 20 минут), дозировка жидкой закваски (по муке) составляла 30 %.

Оценку влияния пыльцы-обножки определяли по изменению параметров технологического процесса и качеству выпеченных опытных образцов. Показатели качества выпеченного и охлажденного хлеба изучали по стандартным методикам.

Для оптимизации рецептур и исследования влияния пыльцы-обножки на параметры технологического процесса и потребительские характеристики хлеба использовали симплекс-метод. Параметрами оптимизации были выбраны кислотность теста, продолжительность брожения теста, продолжительность расстойки тестовых заготовок. Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью программы Microsoft Excel.

По результатам математического моделирования были получены 6 вариантов соотношений измеряемых параметров, удовлетворяющих заданным условиям.

Расчет пищевой ценности образца хлеба по оптимальной рецептуре проведен с использованием баз данных «Химический состав продовольственного сырья и пищевых продуктов» и «Нормы физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах для различных групп населения» [10, 11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали выраженное влияние пыльцы-обножки на параметры технологического процесса и качество хлеба. Параметры технологического процесса приготовления опытных образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры технологического процесса

Table 2 – Process parameters

Наименование	Параметры технологического процесса при дозировке пыльцы-обножки, %					
	0	2	4	6	8	10
Влажность теста, %	47,0 ±0,71	47,0 ± 0,71	47,5 ± 0,71	47,5 ± 0,71	47,5 ± 0,71	48,0 ± 0,71
Кислотность конечная, град	5,5± 0,36	6,0± 0,36	6,5± 0,36	7,0± 0,36	7,5± 0,36	8,5± 0,36
Продолжительность брожения, мин	90± 5	90± 5	80± 5	70± 5	60± 5	50± 5
Продолжительность расстойки, мин	50± 3	50± 3	45± 3	45± 3	45± 3	35± 3
Продолжительность выпечки, мин	35± 2	35± 2	35± 2	35± 2	35± 2	35± 2

Оценка хода технологического процесса позволила сделать вывод, что добавление цветочной пыльцы-обножки при замесе теста приводило к ускорению процесса созревания теста и ускорению процесса расстойки тестовых заготовок. Наличие в составе пыльцы-обножки значимого количества сахаров, макро- и микроэлементов стимулировало жизнедеятельность молочнокислых бактерий и дрожжей, обеспечивало активное молочнокислое и спиртовое брожение, что в итоге сокращало технологический процесс приготовления теста на 30–40 минут, а процесс расстойки тестовых заготовок – на 5–15 минут. Однако добавление 10 % пыльцы-обножки приводило к значительному росту кислотности теста, несмотря на сокращение продолжительности брожения, а в расстойной камере наблюдалось оседание тестовых заготовок.

Физико-химическая оценка опытных образцов (табл. 3) свидетельствует о влиянии пыльцы-обножки на качество изделий. С увеличением дозировки пыльцы-обножки до 8 % отмечалось повышение кислотности мякиша, возрастание пористости мякиша и удельного объема хлеба.

Установлено влияние пыльцы-обножки на изменение внешнего вида, цвета корки, вкуса и запаха выпеченных изделий. Все опытные образцы хлеба с добавлением пыльцы-обножки по сравнению с контрольным образцом имели медово-пряный вкус и запах, усиливающийся при увеличении дозировки ингредиента, а также ярко окрашенную выпуклую корочку. Отмечено образование более равномерной пористости и повышение эластичности мякиша. Худшие органолептические показатели отмечены у образца с добавлением 10 % пыльцы-обножки: наличие неровной корочки, неравномерной пористости, недостаточно эластичного, немного заминающегося мякиша, кислого вкуса. Отмеченные недостатки свидетельствуют о чрезмерной дозировке пыльцы-обножки в количестве, превышающем 8 %, и ее отрицательном влиянии на свойства теста и качество хлеба – значительному возрастанию кислотности, разжижению теста, что привело к пониженной газоудерживающей способности теста и появлению заминаемости мякиша и кислого вкуса.

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества хлеба

Table 3 – Physico-chemical indicators of bread quality

Наименование показателя	Значение показателя при дозировке пыльцы-обножки, %					
	0	2	4	6	8	10
Влажность мякиша, %	46,0 ± 0,71	46,0 ± 0,71	46,5 ± 0,71	47,0 ± 0,71	47,0 ± 0,71	47,5 ± 0,71
Кислотность мякиша, град	5,0± 0,36	5,5± 0,36	6,0± 0,36	6,5± 0,36	6,5± 0,36	8,0± 0,36
Пористость мякиша, %	61± 1,0	63± 1,0	65± 1,0	70± 1,0	70± 1,0	65± 1,0
Удельный объем хлеба, см ³ /г	2,7± 0,2	2,8± 0,2	2,8 ± 0,2	3,0± 0,2	3, 2 ± 0,2	2,8± 0,2

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ АПИПРОДУКТОВ**

Органолептическая оценка выпеченных образцов с учетом физико-химических показателей позволила выбрать хлеб с добавлением 8 % пыльцы-обножки как лучший опытный образец.

Цветочная пыльца-обножка характеризуется высоким содержанием витаминов и минеральных элементов, что определяет повышение пищевой ценности хлебобулочных

изделий с ее применением. Данные расчета пищевой ценности и степень удовлетворения суточной потребности в основных пищевых веществах и энергии при потреблении 100 г хлеба с добавлением 8 % пыльцы-обножки представлены в таблице 4. При расчетах были использованы средние нормы физиологической потребности в основных пищевых веществах и энергии для женщин.

Таблица 4 – Пищевая ценность хлеба с добавлением 8 % пыльцы-обножки

Table 4 – Nutritional value of bread with the addition of 8 % pollen

Показатели	Норма согласно МР 2.3.1.0253-21 (в сутки) [13]	Образец			
		Контроль		Хлеб с добавлением 8 % пыльцы-обножки	
		Пищевая ценность 100 г изделия	Степень удовлетворения суточной потребности, %	Пищевая ценность 100 г изделия	Степень удовлетворения суточной потребности, %
Белки, г	75	7	9	8	11
Жиры, г	78,5	3,5	4,5	4	5
Углеводы, г	336,5	50	15	51	15
Пищевые волокна, г	25	4,5	18	4,5	18
Калий, мг	3500	164	2	177	5
Кальций, мг	1000	23	2	34	3
Магний, мг	420	34	8	46	11
Фосфор, мг	700	99	14	121	17
Железо, мг	18	2	11	2	11
Иод, мг	150	1	0,7	1	0,7
Цинк, мг	12	1	8	1	8
Селен, мкг	55	5,5	10	5,5	10
Медь, мг	1	0,1	10	0,1	10
Витамин В1, мг	1,5	0,2	13	0,3	20
Витамин В2, мг	1,8	0,1	5,5	0,2	11
Витамин РР, мг	20	1,5	7,5	2,75	14
Витамин А, мг, рет. экв.	800	0,7	0,1	6,5	0,8
Витамин Е, мг, ток. экв.	15	2	13	8,5	57
β-каротин, мг	5	0	0	2	40
Флавоноидные соединения, г	250	0	0	100	40
Ккал/ кДж	2350/9839	260/1088	11	272/1138	12

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований установлено влияние цветочной пыльцы-обножки на ход технологического процесса приготовления хлеба и показано, что использование данного функционального ингредиента приводит к форсированию процесса брожения теста за счет наличия в составе пыльцы-обножки значимого количества сахаров, витаминов и минеральных элементов, что вызывает необходимость сокращения

продолжительности брожения теста и расстойки тестовых заготовок. Оптимизация кислотности теста, продолжительности брожения теста и расстойки тестовых заготовок, качественных показателей опытных образцов позволило спроектировать наиболее рациональную технологию и рецептуру изделий с рекомендованной дозировкой пыльцы-обножки в количестве 8 % взамен пшеничной муки.

Показана возможность использования пыльцы-обножки как физиологически функцио-

нального пищевого ингредиента, оказывающего благоприятный эффект на процессы обмена веществ в организме человека и улучшающего качество хлебобулочных изделий.

Хлеб с добавлением 8 % пыльцы-обножки, приготовленный по разработанной рецептуре и технологии, можно отнести к продуктам функционального назначения, восполняющим более 18 % от суточной потребности в пищевых волокнах, более 20 % от суточной потребности витамина В1, более 50 % от суточной потребности витамина Е, более 40 % от суточной потребности β -каротина и флавоноидных соединений.

На хлебобулочные изделия с добавлением цветочной пыльцы-обножки разработана и утверждена в установленном порядке нормативная документация – СТО 02067824-006-2023.

REFERENCES / СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Субботина, А. & Ракитянская, С.В. (2001). Физиологическая ценность и технологические возможности использования продуктов пчеловодства. *Известия вузов. Пищевая технология*. 5-6. С. 5-9.
2. Conte, P., Del Caro, A., Urgeghe, P., Petretto, G., Montanari, L., Piga, A. & Fadda, C. (2020). Nutritional and aroma improvement of gluten-free bread: is bee pollen effective? *LWT. Food Science and Technology*, 118.
3. Mayda, N., Özkök, A., Ecem Bayram, N. [et al.]. (2020). Bee bread and bee pollen of different plant sources: determination of phenolic content, antioxidant activity, fatty acid and element profiles. *Food Measure*, (14), 1795-1809.
4. Aysegül, K. (2018). Bee pollen and its pharmacological properties. *Communications Faculty of Science University of Ankara Series C Biological Engineering and Geophysical Engineering*, 27(2), 93-97.
5. Dubtsova, E.A., Komissarenko, I.A. & Kasyanenko, V.I. (2007). Flower pollen and perga: biological effect and the possibility of use in the elderly. *Clinical Gerontology*, (1), 50-52.
6. Chernenkova, A., Leonova, S., Chernykh, V. & Chernenkov, E. (2020). Influence of biologically active raw materials on rheological properties of flour confectionery products. *Acta Biologica Szegediensis*, 63(2), 195-205.
7. Conte, P., Del Caro, A., Balestra, F., Piga, A. & Fadda, C. (2018). Bee pollen as a functional ingredient in gluten-free bread: A physical-chemical, technological and sensory approach. *LWT. Food Science*

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

and Technology, (90), 1-7.

8. Krystyan, M., Gumul, D., Ziobro, R. & Korus, A. (2015). The fortification of biscuits with bee pollen and its effect on physicochemical properties and antioxidant in biscuits. *Lwt-Food Sci Technol*, 63(1), 640-646.

9. Мусина, О.Н., Нагорных, Е.М., Мелёшкина, Л.Е. [и др.]. (2021). Свидетельство о государственной регистрации базы данных. Химический состав продовольственного сырья и пищевых продуктов; заявитель и правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова». 2021622647 РФ; заявл. 17.11.2021; опубл. 24.11.2021.

10. Мусина, О.Н., Нагорных, Е.М. (2022). Свидетельство о государственной регистрации базы данных. Нормы физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах для различных групп населения; заявитель и правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова». 2022622121РФ; заявл. 21.06.2022; опубл. 23.08.2022.

11. Нормы физиологической потребности в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации (2021). МР 2.3.1. 0253-21 : дата введения 22 июля 2021 г. Москва : Роспотребнадзор.

Информация об авторах

С. И. Конева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна».

А. С. Захарова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна».

Л. Е. Мелёшкина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания».

Information about the authors

S.I. Koneva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology.

A.S. Zakharova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology.

L.E. Meleshkina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Food technology".



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 634.8:664.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.017



НАТУРАЛЬНЫЕ СОКИ ИЗ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА С БЕЛОЙ ОКРАСКОЙ ЯГОД

Галина Александровна Макарова ¹, Оксана Юрьевна Михайлова ²

^{1, 2} Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

¹ angur1992galina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3476-9339>

² mihailova_oxana007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4554-9449>

Аннотация. Обеспечение населения северных регионов высококачественными натуральными продуктами питания – актуальная задача. Цель – исследование качества натурального сока, приготовленного из интродуцированных сортов винограда с белой окраской ягод. Готовили соки в соответствии с основными технологическими инструкциями и нормативными материалами по производству консервной продукции (ТР ТС 023/2011). Соки из исследованных сортов имели внешний вид, соответствующий сортовой окраске (4,4–4,5 балла), гармоничный вкус (4,3–4,7 балла) и сортовой аромат от слабо-травянистого до выраженного мускатного (4,3–4,9 балла). По общей дегустационной оценке они превзошли контроль на 0,2–0,4 балла, по содержанию растворимых сухих веществ – на 1,5–4,0 %, сахаров – на 1,7–4,4 %. Содержание титруемых кислот по сортам невысокое и варьировало в пределах 0,6–0,9 %. Сахарокислотный индекс по сортам колебался в пределах 15,3–26,0 ед. Наиболее высокие его значения отмечены в образцах сока, приготовленных из сортов Тамбовский белый (25,8 ед.) и Тукай (26,0 ед.). Натуральные соки, приготовленные из сортов винограда Краса Севера, Вардува, Кристалл, Тамбовский белый, Тукай, возделываемых в лесостепи Алтайского Приобья, по основным физико-химическим показателям и органолептической оценке соответствуют требованиям ГОСТ 32101-2013 и ТР ТС 023/2011. Из винограда исследованных сортов можно производить сортовые соки.

Ключевые слова: соки прямого отжима, виноград, сорт, вкус, аромат, растворимые сухие вещества, содержание сахаров, титруемая кислотность, сахарокислотный индекс, активная кислотность.

Для цитирования: Макарова Г. А., Михайлова О. Ю. Натуральные соки из интродуцированных сортов винограда с белой окраской ягод // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 129–133. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.017. EDN: <https://elibrary.ru/MDBSAU>.

Original article

NATURAL JUICES FROM INTRODUCED SORTS OF GRAPE WITH WHITE BERRIES

Galina A. Makarova ¹, Oxana Yu. Mikhailova ²

^{1, 2} Federal Altai Scientific Center of Agro-biotechnologies, Barnaul, Russia

¹ angur1992galina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3476-9339>

² mihailova_oxana007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4554-9449>

Abstract. Providing the population of the northern regions with high-quality natural food products is an actual task. Purpose of study is researching of the quality of natural juice made from introduced sorts of grape with white berries. Juices were prepared in accordance with the main technological instructions and normative materials for the production of canned goods (Technical regulation of the Customs Union

© Макарова Г. А., Михайлова О. Ю., 2023

023/2011). Juices from the studied sorts had an appearance corresponding to the color of the sort (4.4-4.5 points), a harmonious flavor (4.3-4.7 points) and an aroma of the sort from slightly herbaceous to expressed muscat (4.3-4.9 points). According to the general assessment of degustation, they exceeded the control by 0.2-0.4 points, in terms of the content of soluble solids - by 1.5-4.0 %, sugars - by 1.7-4.4 %. The content of titratable acids by sorts is low and varied within 0.6-0.9 %. The sugar-acid index by sorts ranged from 15.3-26.0 units. Its highest values were noted in the samples of juice prepared from sort Tambovsky white (25.8 units) and Tukay (26.0 units). Natural juices made from grape of sorts Krasa Severa, Varduva, Kristall, Tambovsky white, Tukay, cultivated in the forest-steppe of the Altai Ob region, according to the main physical and chemical indicators and organoleptic assessment, comply with the requirements of GOST 32101-2013 and Technical regulation of the Customs Union 023/2011. It is possible to produce juices of sorts from the researching sorts of grape.

Keywords: juices by direct of pressing, grapes, sort, taste, aroma, dissoluble dry matter, sugar content, titratable acidity, sugar-acid index, active acidity.

For citation: Makarova, G.A. & Mikhailova, O.Yu. (2023). Natural juices from introduced sorts of grape with white berries. Polzunovskiy vestnik, (3), 129-133. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.017. <https://elibrary.ru/MDBSAU>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России и в других странах отмечается повышенный интерес потребителей к пищевым продуктам, богатыми природными биологически активными веществами, в том числе растительного происхождения [1, 2]. Основными мировыми центрами производства соков являются Европа, Северная Америка, Австралия и страны Азии. Общий объем мирового производства этого вида продукции 30 млрд. л в год [3]. В России первые признаки стабилизации сокового рынка отмечены в начале XXI века, в настоящее время, по мнению аналитиков, он является стабильным [4]. Главной проблемой российского рынка остается высокая зависимость от импортного сырья, особенно от концентратов, что оказывает негативное влияние на развитие отечественного АПК. Поэтому необходима замена производства восстановленных соков на соки прямого отжима [5].

Натуральный сок из винограда занимает особое место. Он относится к категории безалкогольных напитков и является одним из важнейших и наиболее ценных в пищевом и диетическом отношении компонентом питания [6]. Соки имеют приятный вкус благодаря наличию органических кислот и определенного соотношения их с сахарами. Органические кислоты обладают иммунологическими свойствами, кислотность, создаваемая ими в соке, подавляет действие болезнетворных микроорганизмов [7, 8].

Нами изучены физико-химические показатели и органолептические свойства натуральных соков из винограда с темной окраской ягод [9], исследования по белоягодным сортам, произрастающим в условиях лесостепи Алтайского Приобья, ранее не прово-

дили. Поэтому необходимо установить возможность производства соков прямого отжима обладающих высоким содержанием биологически активных веществ из сортов с белой окраской ягод.

Цель – исследование качества натурального сока, приготовленного из интродуцированных сортов винограда с белой окраской ягод.

Задачи исследования:

- дать органолептическую оценку натуральных соков прямого отжима из винограда, выращенного в условиях лесостепи Алтайского Приобья;
- оценить физико-химические показатели соков из белых сортов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЪЕКТЫ

Исследования проведены в отделе НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко Федерального Алтайского научного центра агроботехнологий (отдел НИИСС ФГБНУ ФАНЦА). Объекты исследований: образцы соков, изготовленные из интродуцированных столовых сортов винограда – Тамбовский белый (селекции ФНЦ им. Мичурина), Тукай (ФГБНУ ФРАНЦ); технического сорта – Кристалл (Венгрия); универсального – Вардува (Прибалтика). Для контрольного образца сока использован столовый перспективный сорт Краса Севера (селекции ФНЦ им. Мичурина). Исследования проведены в 2021–2023 гг. Дегустационная оценка продуктов переработки дана по 5-балльной шкале. Содержание сахаров определяли по Методическим рекомендациям [10], остальные физико-химические показатели соков – по ГОСТ: ISO 2173-2013, ISO 750-2013, 26188-2016.

Дегустационная оценка проведена совместно с сотрудниками лаборатории селекции **ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2023**

НАТУРАЛЬНЫЕ СОКИ ИЗ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА С БЕЛОЙ ОКРАСКОЙ ЯГОД

плодовых и ягодных культур отдела НИИСС ФГБНУ ФАНЦА. Готовили сок и провели биохимический анализ в лаборатории промышленных технологий отдела НИИСС ФГБНУ ФАНЦА.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Сбор ягод винограда проводили в стадии полной зрелости.

Готовили соки в соответствии с основными технологическими инструкциями и нормативными материалами по производству консервной продукции (ТР ТС 023/2011).

Сырье инспектировали, промывали проточной водой, ягоды отделяли от гребней. Соки получали на винтовом лабораторном прессе, после измельчения ягод; фильтровали через плотную ткань; разливали горячим способом; укупоривали в стерильную тару.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Окраска свежих ягод различалась по оттенкам. У сорта Вардува ягоды белые, Краса Севера – зеленовато-желтые с розовым загаром, Кристалл – зеленовато-желтые, при полном созревании розовеющие на солнеч-

ной стороне, Тамбовский белый – белые, янтарные на солнечной стороне, Тукай – желтовато-зеленые.

Соки не осветляли. Мутные соки по внешнему виду менее привлекательны, чем осветленные, но в них значительно полнее сохраняются натуральные вкус и аромат плодов. Производство этих соков непрерывно увеличивается, и они пользуются популярностью у потребителей [11].

Сок из сорта Вардува светло-коричневой окраски, прозрачный. Соки из сортов Тамбовский белый, Тукай, Кристалл на уровне контроля со слабой опалесценцией, что придавало им молочный оттенок. Сорт Краса Севера имел окраску сока в разные годы от соломенной до светло-розовой, Кристалл – от светло-соломенной до соломенной с зеленоватым оттенком, Тамбовский белый и Тукай – от светло-соломенной до соломенно-желтой.

По внешнему виду образцы сока практически не различались (таблица 1), у трех сортов оценка на уровне контроля (4,4 балла). Из представленных на дегустацию образцов более привлекательный товарный вид имели соки из винограда сортов Вардува и Тукай (4,5 балла).

Таблица 1 – Дегустационная оценка натурального сока из белых сортов винограда, балл, 2021–2023 гг.

Table 1 – Tasting assessment by degustation of natural juice from white sorts of grape, mark, 2021-2023

Сорт	Внешний вид	Вкус	Аромат	Общая оценка
Краса Севера (контроль)	4,4	4,3	4,3	4,3
Вардува	4,5	4,7	4,9	4,7
Кристалл	4,4	4,6	4,6	4,5
Тамбовский белый	4,4	4,6	4,7	4,6
Тукай	4,5	4,7	4,8	4,7
среднее	4,4	4,6	4,7	4,6
lim	4,4–4,5	4,3–4,7	4,3–4,9	4,3–4,7

По вкусу все сорта превышали контрольный образец на 0,3–0,4 балла. Приятными вкусовыми качествами обладали сорта Кристалл и Тамбовский белый (4,6 балла). Гармоничный вкус (4,7 балла) имел сок, приготовленный из сортов Вардува и Тукай.

Дегустация показала, что в натуральном соке хорошо выражен аромат, соответствующий каждому исследованному сорту винограда. Контрольный образец сока имел слегка травянистый аромат, Тукай – сильный приятный, мускатный (4,8 балла), Тамбовский белый – слабый мускатный (4,7 балла). Сорт Кристалл обладал выраженными сортовыми тонами в аромате (4,6 балла), Вардува – в разные годы, по мнению дегустаторов, от цветочного до мускатного и оценен дегустаторами наиболее высоко (4,9 балла).

Высокую общую оценку продукта полу-

чили соки из ягод сортов Кристалл и Тамбовский белый (4,5–4,6 балла), максимальную – Вардува и Тукай (4,7 балла).

Соки из исследованных сортов имели внешний вид, соответствующий сортовой окраске, обладали гармоничным вкусом и ароматическими характеристиками, свойственными свежему винограду. По общей оценке они превысили контроль на 0,2–0,4 балла, которая в среднем составила 4,6 балла.

Все сорта превосходили контроль по содержанию растворимых сухих веществ (РСВ) в соках на 1,5–4,0 % (таблица 2). Максимальное их содержание выявлено в образце сока из сорта Тукай (19,2 %). Пределы варьирования признака по сортам, за исключением стандарта, 16,7–19,2 %, что соответствует марочной продукции и высшего товарного сорта.

Таблица 2 – Физико-химические показатели виноградных соков прямого отжима, 2021–2023 гг.
Table 2 – Physical-chemical indicators juices of grape by direct of pressing, 2021-2023

Сорт	РСВ, %	Титруемая кислотность, %	СКИ, ед.	pH, ед.
Краса Севера (контроль)	15,2	0,9	15,3	3,2
Вардува	16,8	0,8	19,5	3,1
Кристалл	17,4	0,9	18,0	2,9
Тамбовский белый	16,7	0,6	25,8	3,2
Тукай	19,2	0,7	26,0	3,1
среднее	17,1	0,8	19,9	3,1
lim	15,2–19,2	0,6–0,9	15,3–26,0	2,9–3,2

В первую очередь, пищевая ценность виноградных соков определяется наличием в них природных сахаров, которые являются легкоусвояемыми источниками энергии [12]. Массовая концентрация сахаров в образцах виноградного сока из сортов Вардува, Кристалл, Тамбовский белый, Тукай находилась

в пределах 15,5–18,2 г/100 г, что соответствует требованиям для винограда, направляемого на производство соков прямого отжима (рисунк1). Максимальное значение показателя выявлено в соке из сорта Тукай (18,2 г/100 г), минимальное – Краса Севера (13,8 г/100 г).

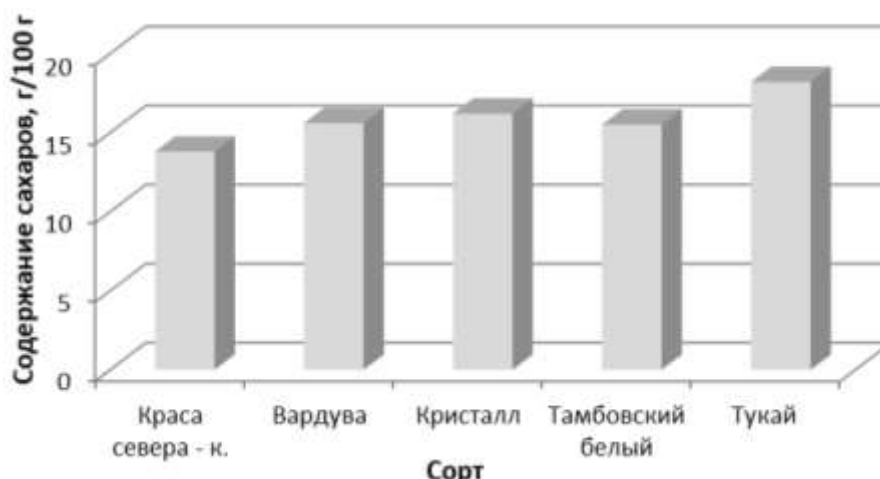


Рисунок 1 – Содержание сахаров в виноградном соке прямого отжима, 2021–2023 гг.

Figure 1 – Sugar content in juice of grape by direct of pressing, 2021-2023

Титруемая кислотность также имеет важное технологическое значение и отвечает за гармонию вкуса получаемой продукции [13]. Содержание титруемых кислот по сортам невысокое и варьировало в пределах 0,6–0,9 %. Максимальный уровень признака на уровне с сортом Краса Севера выявлен в соке из винограда Кристалл (0,9 %), минимальный – Тамбовский белый (0,6 %). В среднем по сортам содержание титруемых кислот составило 0,8 %.

Высокий сахарокислотный индекс (СКИ) характеризует хорошую оценку вкуса ягод и сока из них [14]. Все сорта превзошли контроль по величине сахарокислотного индекса на 2,7–10,7 ед. По сортам он колебался в пределах 15,3–26,0 ед. Наиболее высокие его показатели отмечены у образцов сока, приготовленных из сортов

Тамбовский белый (25,8 ед.) и Тукай (26,0 ед.).

Низкие значения pH (2,7–2,9) тормозят действие окислительных ферментов, в пределах 3,1–3,2 позволяют образцам противостоять бактериальным заболеваниям, окислению фенольных соединений [12]. В исследуемых образцах концентрация водородных ионов (pH) варьировала от 2,9 до 3,2 ед. Максимальный показатель активной кислотности выявлен в образце натурального сока из винограда сортов Краса Севера и Тамбовский белый (3,2 ед.), минимальный – Кристалл (2,9 ед.).

ВЫВОДЫ

Установлена возможность получения из изученных сортов винограда продукции с высоким стабильным по годам качеством. Соки

НАТУРАЛЬНЫЕ СОКИ ИЗ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА С БЕЛОЙ ОКРАСКОЙ ЯГОД

из исследованных сортов имели внешний вид, соответствующий сортовой окраске (4,4–4,5 балла), гармоничный вкус (4,3–4,7 балла) и сортовой аромат от слабо-травянистого до выраженного мускатного (4,3–4,9 балла), высокие показатели растворимых сухих веществ (15,2–19,2 %), сахаров (13,8–18,2 г/100 г) и низких кислот (0,6–0,9 %).

Соки прямого отжима, приготовленные из сортов винограда Краса Севера, Вардува, Кристалл, Тамбовский белый, Тукай, возделываемых в лесостепи Алтайского Приобья, соответствуют всем требованиям действующих технических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Bigliardi B. Innovation trends in the food industry: The case of functional foods / B. Bigliardi, F. Galati // Trends in Food Science & Technology. 2013. V. 31, № 2. P. 118–129.

2. Functional Foods: Health Effects and Clinical Applications // Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition) / L. Galland. New York : Applied Nutrition Inc., 2013. P. 366–371.

3. Сосюра Е.А., Бурцев Б.В. Современное состояние и перспективы развития рынка соков России // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе : матер. 75-й науч.-практ. конф. Ставрополь : Ставропольское издательство «Параграф», 2011. С. 149–152.

4. Сосюра Е.А., Бурцев Б.В., Гофман А.В. Современная нормативная документация на сокодержательную продукцию // Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу : сб. науч. трудов по матер. 75-й науч.-практ. конф. (Ставрополь, 22-24 марта 2011 г.) / СтГАУ. Ставрополь: АГРУС, 2011. С. 56–60.

5. Сосюра Е.А., Бурцев Б.В. Современное состояние и перспективы развития рынка соков России // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе : матер. 75-й науч.-практ. конф. Ставрополь : Ставропольское издательство «Параграф», 2011. С. 149–152.

6. Миронова Е.А., Шкиря Н.А. Совершенствование технологии осветления виноградных соков прямого отжима с использованием современных вспомогательных материалов // Достижения молодых учёных в АПК: матер. Всеросс. науч.-практ. конф. студентов, магистров, аспирантов и молодых учёных. (Махачкала, 10–12 апреля 2019 г.) / ДагГАУ. Махачкала, 2019.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

С. 19–27.

7. Химический состав коньячных виноматериалов из Ркацители в зависимости от высотного градиента мест произрастания / О.К. Власова [и др.] // Виноделие и виноградарство. 2013. № 2. С. 14.

8. Органические кислоты и катионы в структурных элементах ягоды винограда и виноматериалах / О.К. Власова [и др.] // Плодоводство и виноградарство юга России. 2021. № 68(2). С. 215–231. doi: 10.30679/2219-5335-2021-2-68-215-231.

9. Макарова Г.А., Михайлова О.Ю. Оценка качества натуральных соков из интродуцированных сортов винограда с темной окраской ягод // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 65–70. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.009.

10. Методические рекомендации по технологической оценке сортов винограда для виноделия, Ялта, 1983. 71 с.

11. Сосюра Е.А. Разработка технологии напитков функционального назначения на основе виноградного сока : дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2014. 208 с.

12. Миронова Е.А. Экспериментальное обоснование целесообразности производства виноградных соков прямого отжима из сортов винограда юга России // Научные труды СКФНЦСВВ. Т. 29. 2020. С. 47–53.

13. Нуднова А.Ф., Бурцев Б.В., Сосюра Е.А. Влияние органических кислот винограда на формирование качеств вина // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе : матер. 76-й науч.-практ. конф. Ставрополь : Ставропольское издательство «Параграф», 2012. С. 212–214.

14. Шелковская Н.К., Вагнер В.А. Столовые вина из винограда французских сортов, выращенного в условиях предгорной зоны Алтайского края // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 31–34. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.2020.03.005.

Информация об авторах

Г. А. Макарова – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник.

О. Ю. Михайлова – младший научный сотрудник.

Information about the authors

G.A. Makarova - Cand. Sc. (Agr.), senior researcher.

O.Yu. Mikhailova - junior researcher.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663 : 636.087.24 : 519.86

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.018



РАЗРАБОТКА МУЛЬТИЭНЗИМНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ГИДРОЛИЗА ПИВНОЙ ДРОБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Виктория Петровна Вистовская ¹, Елена Петровна Каменская ²,
Денис Сергеевич Кожемякин ³, Елена Сергеевна Дикалова ⁴

^{1, 2, 3, 4} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ ypvist@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0606-4599>

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

³ denkzm1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4051-569X>

⁴ des_1983@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5722-7423>

Аннотация. Исследование посвящено составлению мультиэнзимной композиции для гидролиза пивной дробины с применением методов математического моделирования. Объектом исследования являлась пивная дробина, полученная при производстве светлого пива по классической технологии. Для ферментализации использовались комплексные ферментные препараты производства ООО ПО «Сиббиофарм» (г. Бердск), обладающие целлюлолитическим, ксиланазным, β-глюканазным и протеолитическим действиями: «Целлолюкс А», «Целлолюкс БГК», «Протосубтилин». В эксперименте пивная дробина смешивалась с водой температурой 51±2 °С в соотношении 1:5. Полученная суспензия после внесения ферментных препаратов термостатировалась при температуре 50 °С при периодическом перемешивании в течение шести часов. Каждый час отбирались пробы, которые подвергались центрифугированию, надосадочная жидкость использовалась для определения содержания редуцирующих сахаров и аминного азота. В результате установлены дозировки внесения ферментных препаратов, значения которых использовались при планировании и постановке полного факторного эксперимента ПФЭ 2⁴ со следующими факторами: продолжительность гидролиза и дозировка каждого из трех ферментных препаратов. На основании результатов серии экспериментов получены два уравнения регрессии, описывающие процессы накопления редуцирующих сахаров и аминного азота при совместном действии выбранных факторов. Полученные математические модели соответствовали требованиям адекватности по критерию Фишера, а также были апробированы в условиях эксперимента, установленные значения находились в пределах стандартных отклонений. В результате анализа полученных зависимостей определены соотношения факторов, обеспечивающих оптимальное совместное накопление редуцирующих сахаров и аминного азота.

Ключевые слова: пивная дробина, ферментные препараты, редуцирующие сахара, аминный азот, математическое моделирование, вторичные сырьевые ресурсы, пиво, биоконверсия, ферментативный гидролиз.

Для цитирования: Разработка мультиэнзимной композиции для гидролиза пивной дробины с использованием методов математического моделирования / В. П. Вистовская [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 134–141. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.018. EDN: <https://elibrary.ru/KSGYGV>.

DEVELOPMENT OF A MULTIENTZYMATIC COMPOSITION FOR BREWER'S SPENT GRAIN HYDROLYSIS THROUGH USE OF MATHEMATICAL MODELING METHODS

Victoria P. Vistovskaya ¹, Elena P. Kamenskaya ²,
Denis S. Kozhemyakin ³, Elena S. Dikalova ⁴

^{1, 2, 3, 4} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ vpvist@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0606-4599>

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

³ denkzm1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4051-569X>

⁴ des_1983@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5722-7423>

Abstract. *The study was focused on preparing a multienzymatic composition for brewer's spent grain hydrolysis through the use of mathematical modeling methods. The object of the study was spent grain obtained through traditional brewery. Complex cellulolytic, xylanasic, β -glucanasic and proteolytic enzyme preparations produced by Production Association Sibbiopharm Ltd. (city of Berdsk) were used for enzymolysis: Cellolux-A, Cellolux BGK, Protosubtilin. In the experiment, spent grain was mixed with water at the temperature of 51 ± 2 °C at a 1:5 ratio. Upon introducing the enzyme preparations, the resulting suspension was maintained at the temperature of 50 °C with intermittent mixing in the course of six hours. Samples, which were collected hourly, underwent centrifugation and the supernatant fluid was used to determine the concentration of reducing sugars and amino nitrogen. As a result, the dosages of enzyme preparation introduction have been determined, the values of which were used to design and conduct a full factorial experiment FFE 2⁴ with the following factors: the duration of hydrolysis and the dosage of each of the three enzyme preparations. On the basis of the results of a series of experiments, two regression equations which described the processes of reducing sugars and amino nitrogen accumulation, with both factors in co-operation, were deduced. The resulting mathematical models were shown to be adequate by passing the F-test and were tested experimentally, with the values determined not exceeding the observational error. As a result of analyzing the deduced correspondences, the factor ratios which achieve the most efficient co-accumulation of reducing sugars and amino nitrogen were specified.*

Keywords: *brewer's grains, enzyme preparations, reducing sugars, amine nitrogen, mathematical modeling, secondary raw materials, beer, bioconversion, enzymatic hydrolysis.*

For citation: Vistovskaya, V.P., Kamenskaya, E.P., Kozhemyakin, D.S. & Dikalova, E.S. (2023). Development of a multienzymatic composition for brewer's spent grain hydrolysis through the use of mathematical modeling methods. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 134-141. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.018. <https://elibrary.ru/KSGYGV>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема рационального использования всех видов материальных и топливно-энергетических ресурсов рассматривается как одна из основных в повышении эффективности общественного производства. Актуальная задача состоит в том, чтобы вовлечь в сферу производства не только сельскохозяйственное сырье, перерабатываемое на предприятиях, но и вторичные сырьевые ресурсы (ВСР), так называемые «отходы», являющиеся ценным сырьем для создания продукции пищевого, технического и кормового назначения. Кроме того, их умелое и бережное использование позволяет создать дополнительные источники сырья и топлива, сократить площади под посевы технических культур, устранить угрозу

загрязнения окружающей среды, а также организовать энергосберегающие малоотходные и безотходные производства.

В последние годы в России вновь возобновился интерес к научно-исследовательским работам, позволяющим повысить эффективность использования вторичных сырьевых ресурсов и обосновать целесообразность малоотходных технологий производства пищевых продуктов. К так называемым технологиям «нового поколения» следует отнести биотехнологические способы утилизации отходов. Продукты, получаемые биотехнологическими способами, выгодно отличаются от традиционных химических тем, что сырьем для их получения служат возобновляемые материалы животного и растительного происхождения, а также отходы различных производств.

Для пивоваренной отрасли одной из ведущих отраслей в пищевой промышленности как России, так и других стран, вопросы разработки малоотходной и безотходной технологии имеют первостепенное значение, поскольку в производстве пива степень использования сырья для получения готового продукта составляет примерно 75 %, остальные 25 % – вторичные сырьевые ресурсы. К ВСР пивоваренного производства относятся пивная дробина, зерновой сплав, остаточные пивные дрожжи, белковый отстой, хмелевая дробина и др. Среди данных ВСР наибольший удельный вес (82–87 %) занимает пивная (солодовая) дробина, которая является ценным зерновым сырьем с точки зрения ее дальнейшей переработки для различных нужд. Пивная дробина не токсична и состоит из дробленых зернопродуктов и солода, оставшихся после фильтрования затора, она составляет основную долю твердых отходов пивоваренных заводов, только в России за год на предприятиях отрасли её вырабатывается более 15 миллионов тонн. Существуют различные способы утилизации дробины, но к основным относят только вывозы на полигоны или отвалы и использование в качестве корма для сельскохозяйственных животных и птицы. Широкое использование свежей пивной дробины ограничено её низким сроком хранения (как правило, не более 2–3 суток), сложностью транспортировки и необходимостью применения больших объемов для удовлетворения потребностей организма животных. Нарушение условий утилизации пивной дробины приводит к скоплению и загниванию на свалках огромного её количества, выделяющей в атмосферу ядовитые продукты гидролиза и гниения, значительно нарушающие экологию [1–4].

Особенностью химического состава нативной дробины является преобладание клеточных стенок зерна (в среднем 80 %), состоящих из высокомолекулярных полисахаридов: целлюлозы, лигнина и гемицеллюлозы типа ксиланов, арабанов, арабиноксиланов, связанных с целлюлозой и белками. Кроме того, в составе дробины присутствуют азотистые вещества, представленные белками и аминокислотами (12–15 %); остатки нерастворенного крахмала; свободные и связанные фенольные соединения различной молекулярной массы; липиды, жирнокислотный состав которых биологически высокоэффективен и др. При этом к недостаткам химического состава дробины следует отнести незначительное содержание витаминов и незаменимых аминокислот в составе белков, а высокое содержание клетчатки не позволяет превышать её количество более 1/3 кормового рациона животных [5, 6].

На сегодняшний день существующие способы утилизации пивной дробины требуют дальнейшего изучения и совершенствования, особенно актуальными являются вопросы её переработки с целью предотвращения загрязнения окружающей среды, обеспечения кормовой базы сельскохозяйственного комплекса, а также поиска дополнительных источников белка в виде новых кормовых добавок. Для повышения биологической ценности и усвояемости солодовой дробины, а также эффективности получения биологически активных кормовых добавок на её основе необходимо не только совершенствование способов биоконверсии основных компонентов сырья, но и биосинтетической активности культивируемых на продуктах гидролиза штаммов микроорганизмов [7, 8].

Важным направлением биоконверсии пивной дробины является разработка технологии белково-углеводных кормовых добавок, полученных с использованием перспективных штаммов микроорганизмов – активных продуцентов белка при культивировании на ферментализатах пивной дробины. Поскольку для интенсивного накопления микробного белка при микробиологическом синтезе штаммы в качестве основного источника энергии и углерода используют, в основном, моно- и дисахариды, следовательно, для повышения эффективности биоконверсии пивной дробины в белково-углеводные кормовые добавки необходим поиск как новых отдельных ферментных препаратов (ФП), так и составление мультиэнзимных композиций (МЭК), которые обеспечивают максимальную биодegradацию основных компонентов дробины.

При разработке мультиэнзимных композиций для достоверного описания процесса ферментализации и сокращения количества опытов целесообразно использовать математические методы планирования экспериментов.

Цель настоящего исследования – составление целевой мультиэнзимной композиции для гидролиза пивной дробины на основе математических методов планирования эксперимента.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлась сырая пивная дробина, полученная при производстве светлого пива на АО «Форштадтская пивоварня», г. Барнаул.

Дробину расфасовывали в полиэтиленовые пакеты и хранили при температуре минус 12 °С в морозильной камере «Бирюса». На серию экспериментов использовалась одна партия пивной дробины с влажностью 80±1 %.

При проведении исследований использо-

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИЭНЗИМНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ГИДРОЛИЗА ПИВНОЙ ДРОБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

вали гидромодуль 1:5, т.е. к 100 г пивной дробины добавляли воду температурой 51 ± 2 °С, доводя объем полученной суспензии до 500 мл. Полученную суспензию после внесения ферментных препаратов помещали в термостат при температуре 50 °С. Через определенные промежутки времени в течение шести часов ферментализации и во время отбора проб суспензию перемешивали. Отобранную пробу центрифугировали 5 мин при 10000 об/мин. После центрифугирования надосадочную жидкость (supernatant) фильтровали через складчатый фильтр и в дальнейшем использовали для определения редуцирующих сахаров и аминного азота.

Для выполнения поставленной цели исследования применялись следующие физико-химические методы анализа:

- определение содержания аминного азота йодометрическим титрованием [9];
- определение редуцирующих сахаров (РС) методом Бертрана [10];
- определение массовой доли сухих веществ и влаги методом двухступенчатого высушивания [11];

Таблица 1 – Основная характеристика ферментных препаратов

Table 1 – The main characteristics of enzyme preparations

Наименование препаратов	Ферменты	Активность основного фермента	Продуцент	Параметры	Оптимальные условия действия
ЦеллоЛюкс-А	Целлюлаза, ксиланаза, β-глюканаза, глюкоамилаза	Целлюлолитическая активность – 2000 ± 200 ед/г	<i>Trichoderma viride</i>	Температура, °С	45–60
				рН, ед	3,5–6,0
ЦеллоЛюкс-БГК	Ксиланаза, β-глюканаза,	Ксиланазная активность - (КсА), не менее 6000 ед/мл; β-глюканазная активность (β-ГлА), не менее 2000 ед/мл	<i>Trichoderma reesei</i>	Температура, °С	45–60
				рН, ед	3,5–6,0
Протосубтилин ГЗх	Нейтральные и щелочные протеиназы, α-амилаза, β-глюканаза, ксиланаза, целлюлаза	Протеолитическая активность – 70 ± 7 ед/г	<i>Bacillus subtilis</i>	Температура, °С	45–55
				рН, ед	6,0–7,0

Используемые ФП обладали целлюлолитическим, ксиланазным, β-глюканазным и протеолитическим действиями.

Математическую модель исследуемого процесса ферментации, учитывающую влияние нескольких факторов, получали на основе полного факторного эксперимента ПФЭ 2⁴.

Для полного описания процесса ферментативного гидролиза и его оптимизации были выбраны следующие критерии: накопление редуцирующих веществ – Y_1 ; накопление аминного азота – Y_2 .

В работе использовали следующие факторы: продолжительность процесса – X_1 , дозировка препарата «Целлолюкс А» – X_2 , дозировка препарата «Протосубтилин» – X_3 , дозировка препарата «Целлолюкс БГК» – X_4 [12, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения ферментативного гидролиза пивной дробины использовали отечественные ферментные препараты производства ООО ПО «Сиббиофарм», г. Бердск: ЦеллоЛюкс-БГК, ЦеллоЛюкс-А, Протосубтилин ГЗх.

Характеристика ФП представлена в таблице 1 [14].

По предварительным экспериментальным данным были определены уровни и интервалы варьирования факторов, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Факторы и интервалы их варьирования

Table 2 – Factors and their variation intervals

Фактор	Обозначение	Нижний уровень	Верхний уровень	Основной уровень	Интервал варьирования
Продолжительность ферментализации	X_1	4	6	5	1
«Целлолюкс А»	X_2	0,5	2	1,25	0,75
«Протосубтилин»	X_3	0,5	1	0,75	0,25
«Целлолюкс БГК»	X_4	0,2	0,4	0,3	0,1

При постановке четырехфакторного эксперимента были определены следующие сочетания факторов первого, второго и третьего порядков:

$$C_4^2 = \frac{4!}{2!2!} = 6;$$

$$C_4^3 = \frac{4!}{3!1!} = 4;$$

$$C_4^4 = \frac{4!}{4!0!} = 1.$$

Общее количество взаимодействий в ПФЭ 2^4 составило 11. На основании этого

Таблица 3 – Расчетные данные проверки дисперсии параллельных опытов и воспроизводимости экспериментов

Table 3 – Calculated data for verification of the variance of parallel experiments and reproducibility of experiments

№	Редуцирующие сахара					Аминный азот					G_T
	\bar{y}	S_i^2	G	$S^2_{(y)}$	$S(y)$	\bar{y}	S_i^2	G	$S^2_{(y)}$	$S(y)$	
1	2,03	0,005	0,3977	0,058	0,24	20,3	24,5	0,4464	3,43	1,85	0,4517
2	2,09	0,029				23,1	0,98				
3	2,065	0,001				9,8	0,01				
4	2,47	0,370				28,0	0,01				
5	1,95	0,005				18,2	0,01				
6	2,32	0,174				22,4	3,92				
7	2,76	0,045				19,6	15,68				
8	2,62	0,001				18,9	0,98				
9	2,05	0,001				8,4	0,01				
10	2,34	0,001				25,2	0,01				
11	2,09	0,135				20,3	0,98				
12	2,34	0,080				21,7	0,98				
13	2,43	0,003				30,1	0,98				
14	2,31	0,031				27,3	0,98				
15	2,43	0,001				10,5	0,98				
16	1,62	0,055				19,6	3,92				

Данные таблицы 3 позволили сделать заключение об однородности дисперсии параллельных опытов, определяющих накопление редуцирующих сахаров и аминного азота, так как их расчетные значения критерия Кохрена оказались меньше табличного.

Полученные стандартные отклонения $S(y)$ (таблица 3) использовались при сравнении спрогнозированных результатов с экспериментальными.

При определении коэффициентов регрессии b_u и их значимость при помощи критерия Стьюдента (t_T), было установлено, что для эксперимента по накоплению редуцирующих сахаров значимыми оказались коэффициенты b_0, b_{13}, b_{24} и b_{123} , а для аминного азота – $b_0, b_1, b_2, b_{13}, b_{23}, b_{24}, b_{34}, b_{124}, b_{234}$ и b_{1234} . Данные коэффициенты включали в итоговое уравнение регрессии.

Уравнение, описывающее процесс накопления РС, имеет следующий вид:

$$Y_1 = 2,24 - 0,11X_1X_3 - 0,14X_2X_4 - 0,09X_1X_2X_3.$$

Уравнение, которое описывает процесс

была построена матрица планирования с учетом взаимодействий факторов.

На следующем этапе была определена дисперсия для каждого параллельного опыта S^2_i , значение критерия Кохрена G (отношение дисперсии с наибольшим значением к сумме всех дисперсий), дисперсия воспроизводимости $S^2_{(y)}$ и стандартная ошибка $S(y)$. Для проверки дисперсии на однородность, полученные значения G сравнивали с табличным значением критерия Кохрена G_T . Все вышеперечисленные значения для редуцирующих сахаров и аминного азота представлены в таблице 2.

накопления аминного азота, представлено в следующем виде:

$$Y_2 = 20,21 + 3,06X_1 - 1,66X_2 - 1,84X_1X_3 - 2,01X_2X_3 - 0,7X_2X_4 + 0,88X_3X_4 - 0,88X_1X_2X_4 - 2,45X_2X_3X_4 + 2,98X_1X_2X_3X_4.$$

Математические модели соответствовали требованиям адекватности по критерию Фишера. Расчетные данные критерия для редуцирующих сахаров и аминного азота составили 1,52 (< 2,42 табличные данные) и 1,42 (< 2,74 табличные данные).

Для получения наиболее достоверных результатов было осуществлено кодирование факторов. Уравнение, описывающее процесс накопления РС в кодированных переменных, имеет следующий вид:

$$Y_1 = 2,14 - 0,12X_1 - 1,24X_2 - 0,81X_3 + 2,34X_4 + 0,36X_1X_2 + 0,16X_1X_3 + 2,4X_2X_3 - 1,86X_2X_4 - 0,48X_1X_2X_3.$$

Уравнение, которое описывает процесс накопления аминного азота, представлено в следующем виде:

$$Y_2 = 257,24 - 40,62X_1 - 216,63X_2 - 308,03X_3$$

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИЭНЗИМНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ГИДРОЛИЗА ПИВНОЙ ДРОБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

$$- 957,43X_4 + 39,18X_1X_2 + 52,36X_1X_3 + 164X_1X_4 + 266,21X_2X_3 + 741,48X_2X_4 + 1194,18X_3X_4 - 47,56X_1X_2X_3 - 130,61X_1X_2X_4 - 199,07X_1X_3X_4 - 923,02X_2X_3X_4 + 158,54X_1X_2X_3X_4.$$

Для визуализации характеристики процесса накопления РС и аминного азота были построены поверхности отклика, при этом некоторые факторы имели фиксированные значения.

Для первого уравнения изменяемыми факторами были приняты дозировка препарата «Целлолюкс А» (X_2) и «Протосубтилин» (X_3), так

как их взаимодействие в модели имеет наибольший коэффициент (2,4). Продолжительность процесса (X_1) зафиксирована на уровне 6 часов, так как при данном значении были достигнуты наилучшие результаты, а дозировка препарата «Целлолюкс БГК» в дозировке 0,2 г/кг также фиксирована, поскольку ее внесение не оказало значительного влияния на содержание РС. Поверхность отклика, отражающая зависимость показателя РС от дозировок препаратов «Целлолюкс А» и «Протосубтилин», представлена на рисунке 1.

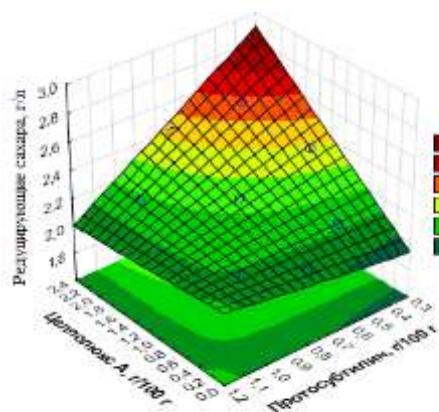


Рисунок 1 – Поверхность отклика накопления редуцирующих сахаров

Figure 1 – Response surface accumulation of reducing substances

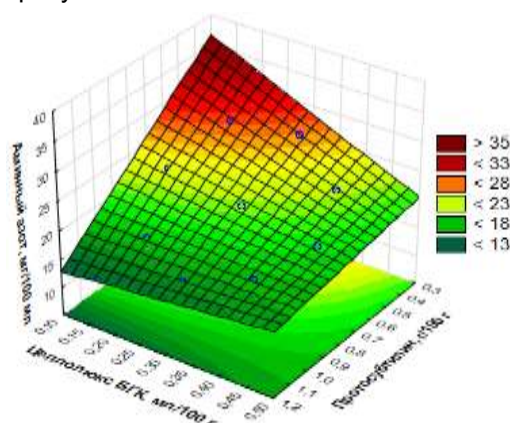


Рисунок 2 – Поверхность отклика накопления аминного азота

Figure 2 – Response surface amino nitrogen accumulation

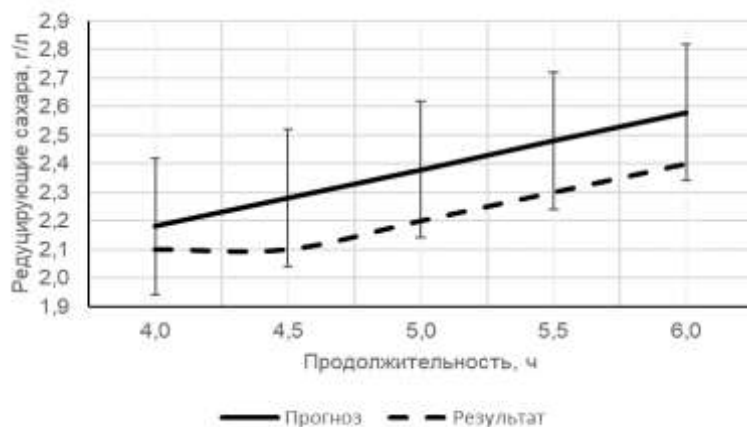


Рисунок 3 – Сравнительный анализ накопления редуцирующих сахаров
Figure 3 – Comparative analysis of the accumulation of reducing sugars

Согласно данным, представленным на рисунке 1, можно утверждать, что содержание РС растет с увеличением дозировки ФП «Целлолюкс А» и уменьшением дозировки препарата «Протосубтилин».

Во втором уравнении наибольший эффект имело взаимодействие факторов X_3 и X_4 (коэффициент 1194,18), факторы X_1 и X_2 были

фиксированными. Поверхность отклика, отображающая зависимость накопления аминного азота от дозировок препаратов «Протосубтилин» и «Целлолюкс БГК», представлена на рисунке 2.

Проанализировав данные рисунка 2, можно сделать заключение, что с уменьшением дозировок обоих ФП содержание аминного азота возрастает.

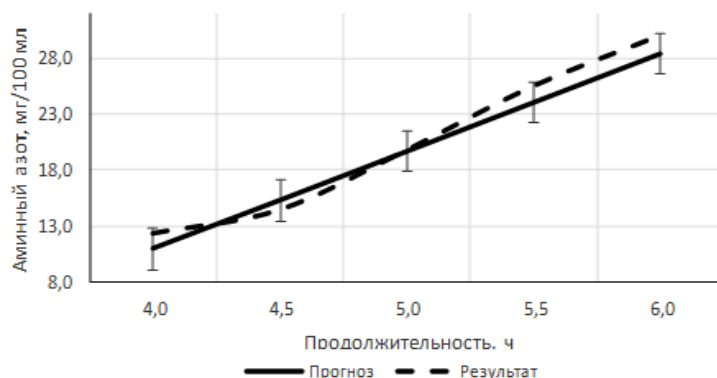


Рисунок 4 – Сравнительный анализ накопления аминного азота

Figure 4 – Comparative analysis of the accumulation of amine nitrogen

Для подтверждения правильности построения математической модели накопления редуцирующих веществ и аминного азота была проведена экспериментальная апробация разработанной мультиэнзимной композиции. Полученные значения сравнивали с теоретически рассчитанными данными. Сравнение показателей для редуцирующих сахаров и аминного азота представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

Согласно данным, представленным на рисунках 3 и 4, содержание редуцирующих сахаров было несколько ниже спрогнозированного (2,4 г/л), а аминного азота – несколько выше (30,0 мг/100 мл). Однако все значения находились в пределах стандартных отклонений (0,24 – для редуцирующих сахаров и 1,85 – для аминного азота). Из этого следует, что математические модели были построены верно.

ВЫВОДЫ

После изучения зависимостей были определены соотношения факторов, которые обеспечивают максимальное совместное накопление редуцирующих сахаров и аминного азота. Продолжительность гидролиза (X_1) – 6 ч, дозировка препарата «Целлолюкс А» (X_2) – 2 г на 100 г пивной дробины с влажностью 80 %, (гидромодуль 1:5), «Протосубтилин» (X_3) – 0,5 г/100 г, «Целлолюкс БГК (X_4) – 0,2 мл/100 г. При таком соотношении факторов прогнозируемое значение аминного азота и редуцирующих сахаров составляло 2,58 г/л и 28,44 мг/100 мл соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров С.М., Филатов С.Л., Пивнова Е.П., Шибанов В.М. К вопросу о способах утилизации пивной дробины // Пиво и напитки. 2014. № 6. С. 32–37.

2. Орлов А.И., Резниченко И.Ю. Применение отходов пивоварения в ресурсосберегающих технологиях // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 146–152.

3. Lynch K.M., Steffen E.J., Arendt E.K. Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*. 2016; 122(4):553–568.

4. ГОСТР 53358-2009 – Продукты пивоварения. Термины и определения. Технические условия. Москва, 2011. 19 с.

5. Рахматджонов Ш.М., Каменская Е.П. Оптимизация условий ферментативного гидролиза пивной дробины // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 90-летию юбилею академика Саковича Г.В. Бийск. 2021. С. 347–350.

6. Composition and nutrient value proposition of brewers spent grain / S. Ikram, L. Huang, H. Zhang [et al.] // *Journal of Food Science*. 2017. Vol. 82. № 10. P. 2232–2242.

7. Плиева З.А. Биоконверсия пивной дробины с использованием разных видов дрожжей: автореф. дисс. ... канд. биол.наук: 03.02.14: Автореферат дисс. ... к.б.н. Владикавказ, 2015. 26 с.

8. Кобелев К.В., Гернет М.В., Грибкова И.Н. Разработка инновационного способа получения биологически активных соединений пивной дробины // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 1. С. 113–124.

9. Ермолаева Г.А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия. СПб. : Профессия, 2004. 536 с.

10. ГОСТ 26176-19 Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. М. : Стандартинформ, 2019. 12 с.

11. ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества. М. : Стандартинформ, 2012. 8 с.

12. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента. М. : ДеЛи принт, 2005. 296 с.

13. Звонарев С.В. Основы математического моделирования : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. 112 с.

14. Официальный сайт ООО ПО «Сиббиофарм» [Электронный ресурс] URL:

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИЭНЗИМНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ГИДРОЛИЗА ПИВНОЙ ДРОБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

<https://www.sibbio.ru/> (дата обращения 25.07.2023).

Информация об авторах

В. П. Вистовская – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бро- дильных производств и виноделия.

Е. П. Каменская – кандидат биологиче- ских наук, доцент кафедры технологии бро- дильных производств и виноделия.

Д. С. Кожемякин – магистрант кафедры технологии бро- дильных производств и вино- делия.

Е. С. Дикалова – старший преподава- тель кафедры технологии бро- дильных про- изводств и виноделия.

REFERENCES

1. Petrov, S.M., Filatov, S.L., Pivnova, E.P. & Shi- banov, V.M. (2014). To the question of the methods of disposal of beer grains *Beer and drinks*. (6). 32-37 (in Russ.).
2. Orlov, A.I. & Reznichenko, I.Yu. (2021). Appli- cation of brewing waste in resource-saving technolo- gies. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 146-152. (in Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.020.
3. Lynch, K.M., Steffen, E.J. & Arendt, E.K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an empha- sis on food and health. *Journal of the Institute of Brew- ing*, (122(4)), 553–568. (in the UK).DOI:10.1002 / jib.363.
4. Brewing products. Terms and Definitions. Technical conditions. (2011). HOST R 53358-2009. Moscow : Standards Publishing House. (in Russ.).
5. Rakhmatjonov, Sh.M. & Kamenskaya, E.P. Optimization of the conditions for the enzymatic hydroly- sis of brewer's grains *Proceedings of the XIV All-Rus- sian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists with interna- tional participation, dedicated to the 90th anniversary of Academician Sakovich G.V. A.N. Blaznov, V.V. Bu- daeva, I.N. Pavlov (Ed.). Barnaul : ASTU.* (in Russ.).
6. Ikram, Sana & Huang, Lian, Yan & Zhang, Hui- juan & Wang, Jing & Yin, Meng. (2017). Composition and Nutrient Value Proposition of Brewers Spent Grain: Composition and preservation of BSG... *Journal of Food Science*. (82). (10). 2232-2242. (in USA)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

DOI:10.1111/1750-3841.13794.

7. Plieva, Z.A. (2015). Bioconversion of brewer's grains using different types of yeast. Extended abstract of candidate's thesis. Vladikavkaz. (in Russ.).

8. Kobelev, K.V., Gernet, M.V. & Gribkova, I.N. (2021). Development of an innovative method for ob- taining biologically active compounds of beer pellets. *Technique and technology of food production*. (V. 51), (1). 113-124. (in Russ.). doi: 10.21603/2074-9414-2021-1-113-124.

9. Ermolaeva, G.A. (2004). Handbook of a labora- tory worker of a brewery. St. Petersburg : Profession. (in Russ.).

10. Feed, compound feed. Methods for the deter- mination of soluble and easily hydrolyzed carbohy- drates. (2019). HOST 26176-19. Moscow : Standards Publishing House. (in Russ.).

11. Feed. Methods for determining the content of dry matter. (2012). HOST 31640-2012. Moscow: Standards Publishing House. (in Russ.).

12. Grachev, Yu.P. & Plaksin, Yu.M. (2005). Mathematical methods of experiment planning. Mos- cow: DeLiprint. (in Russ.).

13. Zvonarev, S.V. (2019). Fundamentals of mathematical modeling: a tutorial. Yekaterinburg : Pub- lishing Institutional repository of Federal State Autono- mous Educational Institution of Higher Professional Ed- ucation Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. (in Russ.).

14. *Sait the company «Sibbiopharm»* Retrieved from <https://www.sibbio.ru.> (in Russ.).

Information about the authors

V.P. Vistovskaya - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Fermentation and Winemaking.

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

D.S. Kozhemyakin - Master's Degree Stu- dent of the Department of Technology of Fermen- tation and Winemaking.

E.S. Dikalova - Senior Lecturer of the De- partment of Technology of Fermentation and Winemaking.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 642.58

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.019



СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАСШИРЕНИЮ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Гращенко Дмитрий Валерьевич ¹, Вернер Алексей Владимирович ²

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

¹ 1@edtd.ru

² werneralexey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2086-5231>

Аннотация. В статье поднимается вопрос современных подходов к этапу разработки продукции для питания детей, в том числе с пищевыми аллергиями, в организованных коллективах с помощью методов проектирования. На сегодняшний день количество детей, имеющих пищевые аллергии, достаточно высоко, каждой группе пищевых отклонений необходим индивидуальный подход в организации питания, в том числе составления рационов. Разработка продукции основывается в первую очередь на нормах питания, для чего была проведена адаптация существующих суточных продуктовых наборов и норм физиологической потребности в пищевых веществах и энергии для детей от 3 до 7 лет с непереносимостью лактозы. Полученные нормы показывают, что такой подход к их формированию достаточно реален, но для наиболее приближенного к существующим нормам требует дополнительного введения безлактозных высокобелковых продуктов. В статье приводится пример разработки безлактозного крупяного блюда для замены лактозосодержащего блюда в существующем рационе завтрака для детей от 3 до 7 лет, разработанный подход позволяет использовать уже наработанную базу готовых сбалансированных рационов питания и точно заменять аллергенные блюда и продукты.

Ключевые слова: рацион питания детей, непереносимость лактозы, пищевые аллергии, разработка блюд методом проектирования.

Для цитирования: Гращенко Д. В., Вернер А. В. Современные подходы к расширению ассортимента продукции методом проектирования // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 142–149. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.019. EDN: <https://elibrary.ru/KLHMHF>.

Original article

MODERN APPROACHES TO EXPANSION PRODUCT RANGE BY THE METHOD OF DESIGN

Dmitry V. Grashchenkov ¹, Alexey V. Werner ²

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

¹ 1@edtd.ru

² werneralexey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2086-5231>

Abstract. The article raises the issue of modern approaches to the stage of product development for the nutrition of children, including those with food allergies in organized collections using design

© Гращенко Д. В., Вернер А. В., 2023

methods. To date, the number of children with food allergies is quite high, each group of food deviations needs an individual approach to nutrition, including the preparation of diets. The development of the product is based primarily on nutrition standards, for which the adaptation of existing daily food packages and norms of physiological need for food substances and energy for children with lactose intolerance aged from 3 to 7 years was carried out. The obtained norms show that such an approach to their formation is quite real, but for the closest to the existing norms it requires additional introduction of lactose-free high-protein products. The article provides an example of the development of a lactose-free cereal dish to replace a lactose-containing dish in the existing breakfast diet for children from 3 to 7 years old, the developed approach allows using an already developed base of ready-made balanced diets and point-by-point replacing allergenic dishes and products.

Keywords: children's diet, lactose intolerance, food allergies, development of dishes by the design method.

For citation: Grashchenkov, D.V. & Werner, A.V. (2023). Modern approaches to expansion product range by the method of design. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 142-149. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.019. <https://elibrary.ru/KLHMHF>.

ВВЕДЕНИЕ

Значение правильного, сбалансированного питания в жизни современного человека сложно недооценить. Питание помимо энергетической функции определяет физическое состояние и развитие организма в целом. Особенно важно значение питания в детском возрасте, т.к. во многом определяет здоровье будущей нации. Детское питание является основополагающим направлением и государственной политики как на федеральном, так и на региональном уровнях. В тоже время нельзя не упомянуть о заболеваниях, связанных с питанием. По данным Федеральной службы государственной статистики [1], на 2020 г. количество детей с болезнями эндокринной системы, расстройствами питания, нарушениями обмена веществ составляло 345,0 тыс. чел. (или 0,8 % от общего количества детей с различными заболеваниями), что на 17 % ниже, чем годом ранее. Среди этой группы детей можно выделить различные виды пищевой аллергии, которые требуют разработки соответствующих рационов питания (безлактозное меню, безглютеновое, фенилкетанурия и др.).

Организация питания детей, в т.ч. с пищевой аллергией, в Российской Федерации осуществляется согласно требований СанПиН 2.3/2.4.3590-20. Рационы питания разрабатываются с учетом объема как отдельных порций, так и приемов пищи, пищевой ценности, а также продуктовых наборов массой нетто за 2 недели. Дополнительно учитывается отсутствие повторяемости в смежные дни, совместимость отдельных изделий (блюд). Среди требований к разрабатываемым рационам отсутствуют методические подходы при организации питания детей с

пищевой аллергией, что еще более остро ставит проблему питания таких детей.

Рассматривая разработку рационов питания, следует выделить ряд последовательно выполняемых этапов [2]:

- разработка технической документации на ассортимент продукции (технологические или технико-технологические карты);
- разработка меню рационов питания в организованных коллективах на планируемый период (не менее 2 недель);
- составление накопительных ведомостей (по пищевой ценности и выполнению натуральных норм питания).

Существенным фактором, сдерживающим разработку рационов питания с учетом действующих требований, является отсутствие готовых технических документов на ассортимент продукции детского питания (технологические, технико-технологические карты с расчетом всех регламентированных показателей качества и безопасности) согласно [3]. Для устранения этого фактора авторами совместно со специалистами ЕМНЦ [4] и Роспотребнадзора по Свердловской области разработан сборник технических нормативов для питания детей. Сборник включает в себя технологические карты с рассчитанными массами брутто и нетто, пищевой ценности (содержание белков, жиров и углеводов, энергетической ценности, всех основных витаминов и минеральных элементов, а также вложенных сахара и соли), технологии изготовления. Рецептуры были отработаны в действующих столовых, а также использованы для разработки рационов питания детей. Условия и сроки реализации продукции были скорректированы с учетом лабораторных испытаний.

Многолетняя подготовка и издание печатных версий сборников технических норма-

тивов накладывает ряд ограничений на применение их в организации питания. Так, при внесении минимальных изменений в рецептурный состав требуется полный пересчет карты, как и изменение выхода продукции. Изменения на законодательном уровне также являются причиной полного пересмотра разработанных документов. Эти ограничения были исключены за счет разработки сборника технических нормативов в электронном формате (ЭСТН) в виде базы данных. База данных составлена с использованием программы для ЭВМ [5]. Формирование рецептур осуществлялось с использованием авторской древовидной структуры (рис. 1).

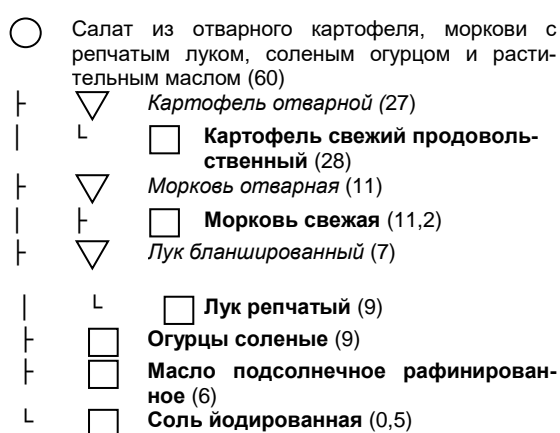


Рисунок 1 – Пример древовидной структуры рецептуры

Figure 1 – An example of the tree structure of the recipe

Древовидная структура позволяет учесть последовательность ведения технологического процесса, а также потери на всех основных стадиях (механическая и тепловая обработка). Программа «Система расчетов для общественного питания» содержит необходимые справочные данные для формирования рецептур, включая химический состав и калорийность продовольственного сырья и пищевых продуктов, величины потерь при механической обработке по сборникам технических нормативов, величины потерь при различных видах тепловой обработки, показатели безопасности по ТР ТС 021.

Практический опыт разработки сборников рецептур, а также рационов питания для организованных коллективов (включая детское питание) показывает необходимость применения принципов проектирования продукции и/или рационов питания. Проектирование осуществляется с использованием метода обобщенного приведенного градиента,

либо симплекс-методом. Для этого формируется математическая модель, определяются целевая функция и изменяемые параметры, а также ограничения (исключения). Авторы рассматривают возможность проектирования как продуктового набора, так и рецептур отдельных изделий (блюд).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Математическая модель представляет собой зависимость выполняемых расчетов (пищевая ценность отдельных изделий (блюд), продуктового набора и/или разработанного рациона питания). Целевая функция определяет направление для проектирования:

$$F(x) \rightarrow \min (\max), \quad (1)$$

где $F(x)$ – вектор коэффициентов целевой функции.

При проектировании набора продуктов для питания детей с пищевой аллергией (например, безлактозное меню) математической моделью может выступать расчет пищевой ценности продуктового набора ребенка согласно [6] и скорректированный продуктовый набор (без продуктов, содержащих лактозу) с произвольной массой нетто:

$$x = \sum \frac{M_n \cdot Y_x}{100}, \quad (2)$$

где M_n – масса нетто продукта из продуктового набора, г;

Y_x – массовая доля пищевого компонента (белки, жиры, углеводы и т.д.) продукта продуктового набора, г на 100 г.

Целевой функцией при этом следует задать разницу по основным нормируемым показателям (содержание белков, жиров, углеводов, калорийность и др.) с минимальным значением:

$$F(x) = X_c - X_k \rightarrow \min, \quad (3)$$

где X_c – пищевая ценность стандартного продуктового набора, г, ккал;

X_k – пищевая ценность скорректированного продуктового набора, г, ккал.

Изменяемые показатели – норма вложения скорректированного продуктового набора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для детей с непереносимостью лактозы из среднесуточного набора, согласно нормам [6], необходимо исключить продукты, содержащие в своем составе лактозу, а

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАСШИРЕНИЮ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

именно: молоко, творог, сметану. Некоторые сорта сыра не имеют в своем составе лактозы, поэтому опционально данный продукт можно оставить или так же исключить. Исключенные продукты необходимо заменить таким образом, чтобы все пищевые нутриен-

ты, включая аминокислоты, соответствовали физиологической норме. В таблице 1 приведен среднесуточный набор для детей от 3 до 7 лет согласно нормам [6] и получаемый в результате продуктового набора с исключением продуктов описанных выше.

Таблица 1 – Среднесуточный набор для детей в возрасте от 3 до 7 лет согласно СанПин и получаемый в результате продуктового подбора

Table 1 – The average daily set for children aged 3 to 7 years according to the SanPiN and obtained as a result of product selection

№	Наименование пищевой продукции или группы пищевой продукции	Физиологическая норма по СанПиН 2.3/2.4.3590-20, г	Рекомендуемая физиологическая норма, г
1	Молоко, молочная и кисломолочная продукция	450	0,0
2	Творог (5 %-9 % м.д.ж.)	40	0,0
3	Сметана	11	0,0
4	Сыр	6	15,9
5	Мясо 1-й категории	55	70,4
6	Птица (куры, цыплята-бройлеры, индейка потрошенная, 1 кат.)	24	35,2
7	Субпродукты (печень, язык, сердце)	25	44,4
8	Рыба (филе), в т.ч. филе слабо- или малосоленое	37	48,1
9	Яйцо, шт.	1	1,5
10	Картофель	140	198,3
11	Овощи (свежие, замороженные, консервированные), включая соленые и квашеные (не более 10 % от общего количества овощей), в т.ч. томат-пюре, зелень, г	220	262,4
12	Фрукты свежие	100	137,2
13	Сухофрукты	11	17,1
14	Соки фруктовые и овощные	100	194,8
15	Витаминизированные напитки	50	50,0
16	Хлеб ржаной	50	53,7
17	Хлеб пшеничный	80	99,5
18	Крупы, бобовые	43	50,5
19	Макаронные изделия	12	16,7
20	Мука пшеничная	29	32,0
21	Масло сливочное	21	21,9
22	Масло растительное	11	15,5
23	Кондитерские изделия	20	24,0
24	Чай	0,6	1,4
25	Какао-порошок	0,6	0,8
26	Кофейный напиток	1,2	1,6
27	Сахар (в том числе для приготовления блюд и напитков, в случае использования пищевой продукции промышленного выпуска, содержащих сахар, выдача сахара должна быть уменьшена в зависимости от его содержания в используемой готовой пищевой продукции)	30	31,5
28	Дрожжи хлебопекарные	0,5	0,9
29	Крахмал	3	3,2
30	Соль пищевая поваренная йодированная	5	5,0

В таблице 2 приведен рассчитанный согласно данным сборника технических нормативов [7] химический и аминокислотный состав среднесуточного продуктового набора для детей в возрасте от 3 до 7 лет согласно СанПин 2.3/2.4.3590-20 и получаемого в результате продуктового подбора. Химический

и аминокислотный состав группы продуктов, например «Овощи», рассчитывался исходя из химического состава продукта, включенного в эту группу, и процентного соотношения продукта в наборе – капуста 25 %, морковь 20 %, лук 15 % и так далее.

Таблица 2 – Химический состав продуктового набора согласно СанПин 2.3/2.4.3590-20 и получаемого в результате продуктового подбора

Table 2 – Chemical composition of the food set according to the SanPiN 2.3/2.4.3590-20 and obtained as a result of product selection

№	Показатель	Единица измерения	Физиологическая норма(СанПиН 2.3/2.4.3590-20)	Получаемые значения в результате подбора	Отклонения, г, мг, мкг, ккал	Отклонения, %
1	Белки	г	74,88	73,74	1,14	1,52
2	Жиры	г	65,69	64,47	1,22	1,86
3	Моно-, дисахара	г	95,57	93,39	2,18	2,28
4	Крахмал	г	146,24	177,87	-31,63	-21,63
5	Углеводы (в сумме)	г	243,70	274,30	-30,60	-12,56
6	Пищевые волокна	г	22,97	28,72	-5,75	-25,03
7	Органические кислоты	г	4,56	4,60	-0,04	-0,88
8	Зола	г	18,22	17,99	0,23	1,26
9	Na	мг	3033,76	3053,94	-20,18	-0,67
10	K	мг	3186,18	3370,42	-184,24	-5,78
11	Ca	мг	892,36	423,37	468,99	52,56
12	Mg	мг	297,54	290,03	7,51	2,52
13	B1	мг	1,07	1,16	-0,09	-8,41
14	B2	мг	1,94	1,77	0,17	8,76
15	C	мг	151,15	205,24	-54,09	-35,79
16	ЭЦ	ккал	1881,70	1988,90	-107,20	-5,70
17	Валин	мг	4224,42	4072,24	152,18	3,60
18	Изолейцин	мг	3568,61	3137,19	431,42	12,09
19	Лейцин	мг	6229,36	5711,27	518,09	8,32
20	Лизин	мг	5218,40	4780,65	437,75	8,39
21	Метионин	мг	1689,94	1536,84	153,10	9,06
22	Треонин	мг	3275,20	3087,58	187,62	5,73
23	Триптофан	мг	987,64	965,24	22,40	2,27
24	Фенилаланин	мг	3749,35	3495,39	253,96	6,77
25	Аланин	мг	3424,64	3773,24	-348,60	-10,18
26	Аргинин	мг	3975,62	4179,87	-204,25	-5,14
27	Аспаргиновая кислота	мг	6186,95	6469,20	-282,25	-4,56
28	Гистидин	мг	2310,72	2375,77	-65,05	-2,82
29	Серин	мг	3655,92	3351,63	304,29	8,32
30	Тирозин	мг	2947,84	2424,27	523,57	17,76
31	Цистин	мг	988,83	1110,31	-121,48	-12,29

Полученный химический и аминокислотный состав с исключением молочных продуктов (кроме сыра) имеет приближенные показатели к нормируемым, для получения более идеального результата необходимо не только исключать продукты и перекладывать пищевую ценность на оставшиеся продукты, но и включать в среднесуточный набор другие аналогичные продукты по структуре и химическому составу.

При проектировании отдельных рецептов изделий (блюдов) необходимо разработать проект рациона питания, определить направление корректировки, а также сформировать математическую модель расчета пищевой ценности рецептур:

$$X = \sum \frac{M_n \cdot Y_x}{10000} \cdot C_x, \quad (4)$$

где M_n – масса нетто продукта рецептуры, г;

Y_x – массовая доля пищевого компонента продукта рецептуры, г на 100 г;

C_x – сохранность пищевого компонента при тепловой обработке, %.

Целевая функция задается в зависимости от полученных отклонений проекта рациона и норм пищевой ценности по СанПин или по сборнику [7]. Аналогичным образом можно разрабатывать рационы с учетом выполнения натуральных норм питания.

В соответствии с письмом № ГД-1158/01 от 17.05.2021 г. Министерства просвещения Российской Федерации ежедневно общедоступная организационная размещает фактические меню в определенном разделе сайта в виде электронной таблицы в формате XLSX с декларированием содержания белков, жиров, углеводов, а также энергетической ценности (отдельных изделий (блюдов) и приемов в целом). Эти данные были использованы в качестве исходных для анализа предлагаемых рационов питания. В аналитическую базу взяты данные школ города Екатеринбурга. В качестве исходных для проектирования выбран один из наиболее часто встречающихся вариантов рациона питания (завтрака) с включением крупяного блюда. Рацион представлен в таблице 3. Для унифици-

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАСШИРЕНИЮ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ
МЕТОДОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

кации анализируемых рационов пищевая ценность была скорректирована с использованием стандартизированного Сборника тех-

нических нормативов, разработанного на территории Свердловской области совместно с со специалистами Роспотребнадзора [9].

Таблица 3 – Рацион завтрака для детей от 3 до 7 лет с крупяным блюдом

Table 3 – Breakfast ration for children from 3 to 7 years with a cereal dish

№	Наименование блюда	Выход, г	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал
3/13	Хлеб с маслом и сыром	30/5/10	4,95	6,56	14,08	137,10
2/4	Каша гречневая молочная с маслом сливочным	200	7,82	7,98	30,18	233,02
–	Хлеб ржаной	20	1,32	0,24	6,68	38,68
27/10	Чай (вариант 2)	200	0,08	0,02	4,91	19,22
–	Яблоки	100	0,40	0,40	9,80	48,68
	Итого за «Завтрак»		14,57	15,20	65,64	476,70
	Норма (СанПиН 2.3/2.4.3590-20 7–11 лет)		77,00	79,00	335,00	2350,00
	Норма на завтрак (20–25 %)		15,40–19,25	15,80–19,75	67,00–83,75	470,00–587,50
	Отклонение, г		0,83	0,6	1,36	–
	Отклонение, %		5,39	3,80	2,03	–

Для рациона питания детей с непереносимостью белков коровьего молока необходимо исключить сыр, масло сливочное и молоко. Масло и сыр заменены на одно отварное яйцо, каша гречневая молочная с маслом заменена на спроектированное блюдо «Запеканка из риса с тыквой на альтернативном

молоке», где молоко будет заменено на альтернативное – кокосовое.

Расчет необходимых показателей основных пищевых веществ – белков, жиров, углеводов и энергетической ценности – представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет показателей для проектирования блюда

Table 4 – Calculation of indicators for the design of the dish

№	Наименование блюда	Выход, г	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал
1/6	Яйцо отварное	45	5,72	5,18	0,32	70,63
27/10	Чай (вариант 2)	200	0,08	0,02	4,91	19,22
–	Хлеб пшеничный	20	1,32	0,13	9,34	44,78
–	Хлеб ржаной	20	1,32	0,24	6,68	38,68
–	Яблоки	100	0,40	0,40	9,80	48,68
	Итого за «Завтрак»		8,84	5,97	31,04	221,99
	Норма на завтрак (20–25 %)		15,40–19,25	15,80–19,75	67,00–83,75	470,00–587,50
	Необходимо для проектирования		6,56–10,41	9,83–13,87	35,96–52,71	248,01–365,51
	Среднее		8,49	11,81	44,34	306,76

Полученная в результате проектирования рецептура представлена в таблице 5, расчет химического состава представлен в

таблице 6. Расчет химического состава производился согласно методическим рекомендациям [10].

Таблица 5 – Спроектированное блюдо «Запеканка из риса на альтернативном молоке с тыквой»

Table 5 – Designed dish "Riccasserole on alternative milk with pumpkin"

Наименования сырья и пищевых продуктов	Масса, г	
	брутто	нетто
Крупа рисовая	40,0	40,0
Вода	70,0	70,0
Кокосовое молоко	40,0	40,0
Тыква	54,8	40,0
Яйцо куриное	30,0	30,0
Сахар песок	17,5	17,5
Масло растительное	3,0	3,0
Соль йодированная	0,5	0,5

Таблица 6 – Расчет химического состава спроектированного блюда

Table 6 – Calculation of the chemical composition of the designed dish

Наименование пищевого продукта	Масса нетто	Белки		Жиры		Углеводы	
		%	итого	%	итого	%	итого
Крупа рисовая	40,0	7,50	3,00	2,60	1,04	62,30	24,92
Вода	70,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Кокосовое молоко	40,0	1,30	0,52	17,00	6,80	5,70	2,28
Тыква	40,0	1,00	0,40	0,10	0,04	4,40	1,76
Яйцо куриное	30,0	12,70	3,81	11,50	3,45	0,70	0,21
Сахар песок	17,5	0,00	0,00	0,00	0,00	99,80	17,47
Масло растительное	3,0	0,00	0,00	99,80	2,99	0,00	0,00
Соль йодированная	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Итого	241,0		7,73		14,32		46,64
Сохранность		95,00		95,00		95,00	
Выход	200		7,34		13,61		44,30

Таблица 7 – Итоговый рацион с использованием спроектированного блюда

Table 7 – The final diet using the designed dish

№	Наименование блюда	Выход, г	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал
X/X	Запеканка из риса на альтернативном молоке с тыквой	200	7,34	13,61	44,30	329,06
1/6	Яйцо отварное	45	5,72	5,18	0,32	70,63
27/10	Чай (вариант 2)	200	0,08	0,02	4,91	19,22
–	Хлеб пшеничный	20	1,32	0,13	9,34	44,78
–	Хлеб ржаной	20	1,32	0,24	6,68	38,68
–	Яблоки	100	0,40	0,40	9,80	48,68
	Итого за «Завтрак»		16,18	19,58	75,35	551,1
	Норма на завтрак (20–25 %)		15,40–19,25	15,80–19,75	67,00–83,75	470,00–587,50
	Отклонение, г		–	–	–	–
	Отклонение, %		–	–	–	–

Итоговый рацион с использованием спроектированного блюда представлен в таблице 7.

Полученный рацион с использованием безлактозного спроектированного блюда соответствует нормам [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Питание детей является приоритетной государственной задачей, которая во многом определяет здоровье будущей нации. Организация питания строится на научной основе и предполагает расчет не только количества потребляемых продуктов, но пищевую ценность отдельных приемов пищи и рационов за каждый день и за две недели. Современные методы проектирования позволяют упростить поставленную задачу за счет применения компьютерных технологий с правильной постановкой задачи повысить качество питания, в том числе детей с пищевой аллергией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Росстат Федеральная служба государственной статистики. Заболеваемость детей в возрасте 0–14 лет по основным классам болезней.

URL : <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/zdr3-5.xls> (дата обращения: 28.10.2022).

2. ВОЗ. Информационный бюллетень. Здоровое питание. Август, 2018 // Социальные аспекты здоровья населения. 2018. № 6(58). С. 13. EDN YLXGFQ.

3. ГОСТ 31987-2012. Услуги общественного питания. Технологические документы на продукцию общественного питания. Общие требования к оформлению, построению, содержанию : введ. 2015.01.01. Москва, 2019. 12 с.

4. Федеральное бюджетное учреждение науки «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промышленных предприятий» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. URL : <https://www.ymrc.ru/> (дата обращения: 28.10.2022).

5. Система расчетов для общественного питания. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2002610284, свидетельство об экспертизе в Роспотребнадзоре № 32.

6. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3/2.4.3590-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения": утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27.10.2020 г. № 32.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАСШИРЕНИЮ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

7. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских пищевых продуктов: Справочник. Москва : ДеЛи плюс, 2012. 284 с.

8. Методические рекомендации МР2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации". Введ 2021.06.22.

9. Сборник технических нормативов для питания детей в дошкольных организациях. Екатеринбург, УрГЭУ, 2008-2011 г. Экспертное заключение № 02-01-12-13-01/276.

10. Методические рекомендации по питанию детей в организованных коллективах. Часть I. Подходы к составлению рационов питания для детей, проживающих в условиях неблагоприятного воздействия окружающей среды. Часть II. Технические документы для организации питания детей. Часть III. Сборник технологических карт для питания детей / Екатеринбург: ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, ФГБОУ ВО УрГЭУ, ФБУЗ ЦГиЭ в Свердловской области 2018. 660 с.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

Информация об авторах

Д. В. Гращенко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии питания» Уральского государственного экономического университета.

А. В. Вернер – аспирант 3 года обучения Уральского государственного экономического университета.

Information about the authors

D.V. Grashchenkov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Nutrition Technologies" of the Ural State University of Economics.

A.V. Werner - postgraduate student of the 3rd year of study of the Ural State University of Economics.



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

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.020



КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ПИЩЕВОГО ПЕПТИДА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ *INVITRO*

Тихонов Сергей Леонидович¹, Тихонова Наталья Валерьевна²,
Пестова Инга Геннадьевна³, Мерзлякова Наталия Вадимовна⁴

¹ МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

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

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

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

³ Пермский институт (филиал) РЭУ имени Г.В. Плеханова, Пермь, Россия

³ inga-pestova@rambler.ru

⁴ Хладокомбинат №3, Екатеринбург, Россия

⁴ merzlyakova@xk3.ru

Аннотация. Пептиды представляют большой интерес для производителей пищевой продукции как пищевые добавки широкого спектра антимикробного действия с высокой активностью при микромолярной концентрации. Молочный белок является легкодоступным источником пептидов антимикробного действия. Целью работы являлось выделение антимикробного пептида из белка молозива коров с последующей его классификацией и подтверждением биологической активности в эксперименте *invitro*. В качестве объектов исследований использовали пепсиновый гидролизат молозива коров и пептид с условным названием R(1), выделенный гидролизата молозива коров. Антимикробную активность пептида определяли диско-диффузионным методом. Из пепсинового гидролизата молозива коров выделен полипептид, состоящий из 11 аминокислот со следующей последовательностью: IRHGRCVSCSR. На основании идентификации пептида по базе «Antimicrobial Peptide Database» установлено, что он на 40 % подобен антимикробному пептиду AP00450, действующему губительно на грамположительные и грамотрицательные бактерии. Идентификация по базе данных Protein NCBI показала сходство исследуемого пептида R(1) с антимикробным пептидом с названием «14 kDaphosphohistidinephosphatase». Установлено, что положительный заряд пептида составляет +1, молекулярная масса 7 кДа, изоэлектрическая точка 11,59, гидрофильность + 12,51 Ккал*моль⁻¹. Пептид и относится к α-спиральным, что свидетельствует об его антимикробной активности. В эксперименте *invitro* подтверждено противомикробное действие пептида.

Ключевые слова: молочный белок, пепсин, ферментативный гидролизат, молозиво коров, биологически активные пептиды, антимикробная активность.

Для цитирования: Классификация и подтверждение антимикробной активности пищевого пептида в эксперименте *invitro* / С. Л. Тихонов [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 150–155. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.020. EDN: <https://elibrary.ru/ZQMDEG>.

Original article

LASSIFICATION AND CONFIRMATION OF ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF A FOOD PEPTIDE IN AN IN VITRO EXPERIMENT

Sergey L. Tikhonov¹, Natalya V. Tikhonova², Inga G. Pestova³,
Natalia V. Merzlyakova⁴

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

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

© Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Пестова И. Г., Мерзлякова Н. В., 2023

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ПИЩЕВОГО ПЕПТИДА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ INVITRO

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

³ Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics, Perm, Russia

³ inga-pestova@rambler.ru

⁴ Refrigerating plant No. 3, Yekaterinburg, Russia

⁴ merzlyakova@xk3.ru

Abstract. Peptides are of great interest to food manufacturers as food additives of a wide spectrum of antimicrobial action with high activity at micromolar concentration. Milk protein is an easily accessible source of antimicrobial peptides. The aim of the work was to isolate an antimicrobial peptide from cow colostrum protein, followed by its classification and confirmation of biological activity in an in vitro experiment. Pepsin hydrolysate of cow colostrum and a peptide with the conditional name R(1) isolated from cow colostrum hydrolysate were used as objects of research. The antimicrobial activity of the peptide was determined by the disco-diffusion method. A polypeptide consisting of 11 amino acids with the following sequence was isolated from the pepsin hydrolysate of cow colostrum: IR-HGRCVSCSR. Based on the identification of the peptide based on the Antimicrobial Peptide Database, it was found that it is 40% similar to the antimicrobial peptide AP00450, which acts ruinously on gram-positive and gram-negative bacteria. Identification by the Protein NCBI database showed the similarity of the studied peptide R(1) with an antimicrobial peptide named "14 kDaphosphohistidinophosphatase". It was found that the positive charge of the peptide is +1, the molecular weight is 7 kDa, the isoelectric point is 11.59, the hydrophilicity is + 12.51 Kcal * mol⁻¹. The peptide belongs to the α -helical, which indicates its antimicrobial activity. The antimicrobial effect of the peptide was confirmed in an in vitro experiment.

Keywords: milk protein, pepsin, enzymatic hydrolysate, cow colostrum, biologically active peptides, antimicrobial activity.

For citation: Tikhonov, S.L., Tihonova, N.V., Pestova, I.G. & Merzlyakova, N.V. (2023). Classification and confirmation of antimicrobial activity of a food peptide in an in vitro experiment. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 150-155. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.020. <https://elibrary.ru/ZQMDEG>.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство процессов консервирования пищевых объектов направлено на инактивацию микроорганизмов путем использования пищевых добавок с антимикробными и в тоже время канцерогенными свойствами, что вызывает отрицательное отношение потребителей к консервантам в целом [1]. Следовательно, актуальными являются исследования по поиску безопасных естественных способов биологического консервирования, обеспечивающих сохранение качества и микробиологической безопасности пищевой продукции на протяжении всего срока годности.

Внедрение технологий консервирования пищевых продуктов с использованием веществ природного происхождения также важно для предотвращения потерь при хранении и распространения болезней, вызванных потреблением продуктов питания с патогенной микрофлорой. В этой связи антимикробные пептиды (АМП) представляют большой интерес как пищевые добавки широкого спектра консервирующего действия с высокой активностью при микроконцентрации. АМП более выгодны по сравнению с антибиотиками благодаря их способности обходить распростра-

ненные механизмы резистентности, возникающие у микроорганизмов [2].

АМП могут быть получены из различных источников белка, в частности, из молочного, путем ферментативного гидролиза или микробиологической ферментации [3]. Для получения признанных антимикробных пептидов для расщепления белка часто используют пепсин [4].

Цель исследования – выделение антимикробного пептида из пепсинового гидролизата молозива коров с последующей его классификацией и подтверждением биологической активности в эксперименте *invitro*.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований:

- пепсиновый гидролизат молозива коров;
- пептид с условным названием R(1), выделенный из пепсинового гидролизата молозива коров.

Молекулярно-массовое распределение аминокислот в пептиде оценивали масс-спектрометрическим методом и идентифицировали методами MALDI-TOF и MS Ultraflex («Bruker», Германия). Анализ масс-спектров проводили с помощью программы Mascot, опция Peptide Fingerprint («Matrix Science»,

США) с использованием баз данных Protein NCBI и Antimicrobial Peptide Database.

Микросеквенирование осуществляли с помощью секвенатора MiSeq (Illumina, США), системы для высокопроизводительного секвенирования PGM Ion Torrent и системы спектрофотометрической оценки качества образца (Life Technologies, США).

Score (величина достоверности для каждого совпадения) пептида рассчитывали по формуле (1) [5]:

$$Score = \frac{50000}{M_{prot} \times n^{mi}}, \quad (1)$$

где M_{prot} – молекулярная масса для каждого совпавшего пептида;

n – произведение, которое рассчитывается из Mowse-матрицы весов M для каждого совпадения экспериментальных данных и масс пептидов, рассчитанных из записей в геномной базе данных Protein NCBI и APM.

Моделирование пространственной структуры пептида осуществляли с помощью программы молекулярного моделирования Schrodinger Maestro (США).

Антимикробную активность пептида определяли диско-диффузионным методом на грамположительных и грамотрицательных бактериях, в качестве тест-штаммов использовали *Escherichiacoli* и *Bacillus subtilis*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из пепсинового гидролизата молозива коров выделен полипептид, состоящий из 11 аминокислот с последовательностью IRHGRCVSCSR (изолейцин-аргинин-гистидин-глицин-аргинин-цистеин-валин-серин-цистеин-серин-аргинин), которому дали условное название R(1).

Аминокислотный состав пептида, прежде всего, влияет на его антимикробную активность и определяет механизм действия. Кроме того, антимикробные пептиды классифицируют на основе составляющих аминокислот, в частности, аргинина, гистидина и глицина. Установлено, что пептид R(1) содержит по одной аминокислоте аргинина, гистидина и глицина, причем они в пептидной цепи находятся друг за другом. Анализируя механизм действия АМП, следует отметить, что пептиды с аргинином и гистидином притягиваются к анионной бактериальной мембране [6].

В таблице 1 представлена характеристика аминокислотного состава пептидной последовательности. Содержание аминокислот следующее: Ile, Val, Gly, His по 9 %, Cys и Ser по 18 % и Arg – 27 %, молекулярная масса пептида 7 кДа.

На основании идентификации пептида по базе «Antimicrobial Peptide Database» установлено, что он на 40 % подобен антимикробному пептиду AP00450, действующему губительно на грамположительные и грамотрицательные бактерии. Идентификация по базе данных Protein NCBI показала сходство исследуемого пептида R(1) (Score = 102) с антимикробным пептидом с названием «14 kDaphosphohistidinephosphatase».

Таблица 1 – Характеристика аминокислотного состава пептидной последовательности

Table 1 – Characteristics of the amino acid composition of the peptide sequence

Наименование показателя	Характеристика показателя
Гидрофобная аминокислота	I: 1 V: 1 L: 0 F: 0 C: 2 M: 0 A: 0 W: 0
Количество G и P	G: 1 P: 0
Отрицательно заряженная аминокислота	E: 0 D: 0
Положительно заряженная аминокислота	K: 0 R: 3 H: 1
Другая аминокислота	T: 0 S: 2 Y: 0 Q: 0 N: 0

При анализе аминокислотного состава пептида установлено, что в нем присутствуют неполярные аминокислоты, в частности, валин и изолейцин, имеющие незаряженный радикал. При сближении в пространстве радикалы этих аминокислот обеспечивают гидрофобное взаимодействие с мембраной клетки бактерий. Полярные, гидрофильные, незаряженные аминокислоты пептида – глицин, цистеин и серин за счет гидроксильной, сульфгидрильной и амидогруппы способны образовывать водородные связи мембраной клетки бактерий.

Общий положительный заряд пептида (+1) свидетельствует о том, что рН пептида меньше изоэлектрической точки, так как при уменьшении рН все больше аминокислот переходит в форму NH_3^+ , а диссоциация карбоксильных групп подавляется. Вышеизложенное подтверждается результатами исследований. Так, у пептида R(1) значение изоэлектрической точки составляет 11,59, и гидрофильность (гидрофобность) равна + 12,51 Ккал*моль⁻¹.

На рисунке 1 приведен масс-спектр образца R(1).

На основании установленных физических и химических характеристик пептида его можно отнести к антимикробным, так как большинство АМП – это амфипатические молекулы, состоящие из 6...100 аминокислот с

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ПИЩЕВОГО ПЕПТИДА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ INVITRO

молекулярной массой до 12 кДа с суммарным положительным зарядом от +1 до +9, который направляет пептид к отрицательно заряженным мембранам бактериальных клеток и позволяет его способности разрушать и дестабилизировать клеточные мембраны [7].

На основе структурной конформации АМП подразделяют на четыре категории: линейные, α -спиральные пептиды, β -плиссированные листовые пептиды, линейная удлиненная структура и как α -спиральные, так и β -листовые пептиды [8]. Пептид R(1) относится к альфа-спиральным пептидам.

Следует отметить, что общая формула антимикробных пептидов включает гидрофобные аминокислоты: изолейцин (I) или лейцин (L) и катионные аминокислоты: аргинин или лизин. В исследуемом нами пептиде имеется аминокислота изолейцин и 3 аминокислоты аргинин, обладающие антимикробными свойствами, что, возможно, свидетельствует о его противомикробной активности. Такая комбинация гидрофобных и по-

ложительно заряженных аминокислот обуславливает/обеспечивает α -спиральную конформацию пептида.

Механизм действия α -спиральных пептидов заключается в следующем: полярная фаза притягивается к отрицательно заряженной мембране, а неполярная фаза вызывает проникновение пептида в мембрану за счет Ван-дер-Ваальсовых сил и гидрофобных взаимодействий, приводящих к повышению проницаемости мембраны микробной клетки [9].

Кроме того, изолейцин обеспечивает конъюгацию пептида с другими молекулами через группу $-SH$. Уровень гидрофильности ($+11,59$ Ккал*моль $^{-1}$) свидетельствует о возможности проникновения пептида через мембрану бактериальной клетки. Можно предположить, что исследованный пептид R(1) должен обладать высокой химической активностью, амфильностью и, возможно, противомикробными свойствами.

Для подтверждения антимикробной активности пептида проведены исследования *in vitro* (таблица 2).

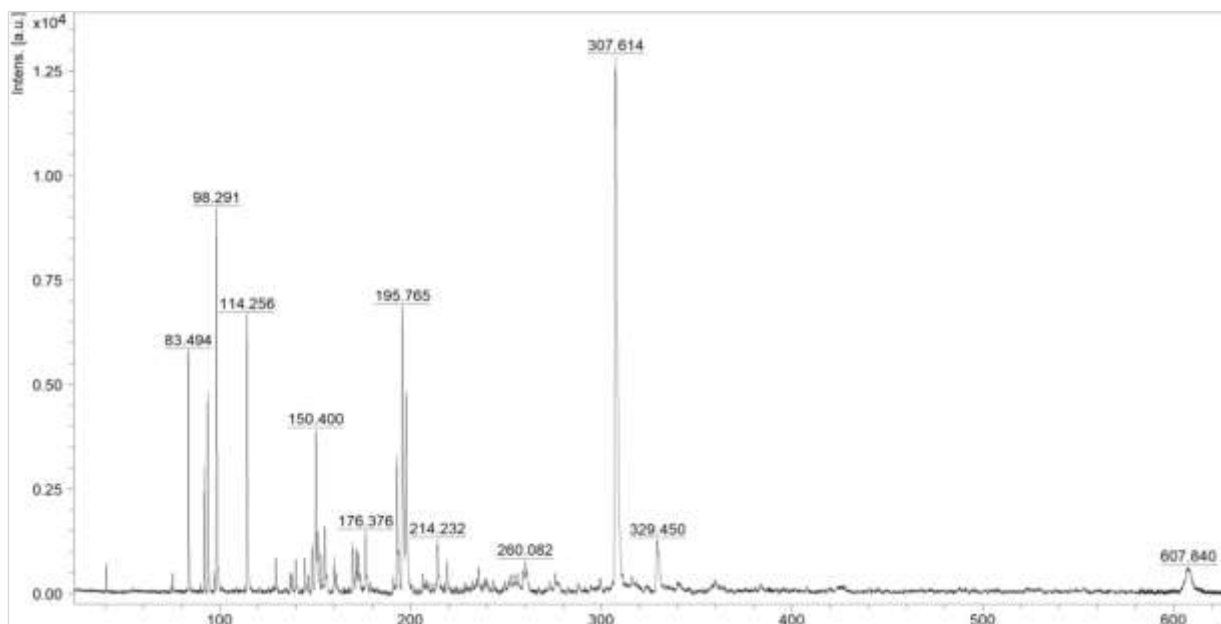


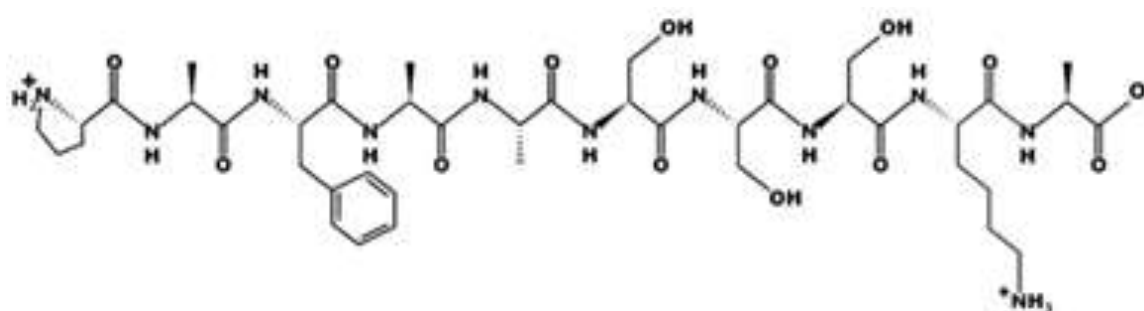
Рисунок 1 – Масс-спектр образца R(1)

Figure 1 – Mass spectrum of sample R(1)

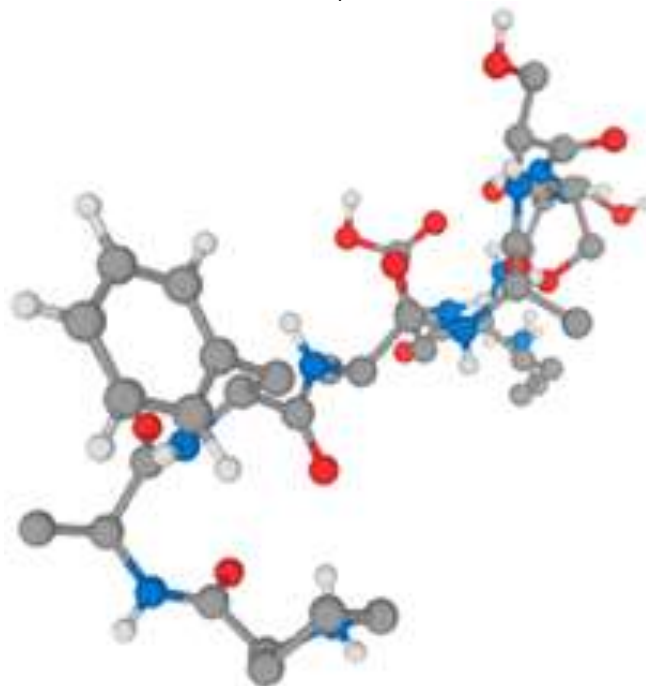
Таблица 2 – Антимикробная активность пептида R (1)

Table 2 – Antimicrobial activity of peptide R (1)

Образец	Диаметрзонылизиса, мм		
	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>B. subtilis</i>	<i>C. albicans</i>
R(1)	17	19	6
Контроль	0	0	0
Антибиотик «Канамицин»	22	24	Не исследовали
Противогрибковый препарат «Флуконазол»	Не исследовали		26



а)



б)

Рисунок 2 – Двухмерная (а) и трехмерная (б) структура пептида R(1)

Figure 2 – Two-dimensional (a) and three-dimensional (б) structure of the peptide R(1)

Установлено, что пептид R(1) обладает противомикробным и противогрибковым действием. Диаметр зоны лизиса *E. coli* ATCC 25922 и *B. Subtilis* под действием пептида составляет 17 и 19 мм, *S. Albicans* – 6 мм. Следует отметить, что противомикробная активность пептида ниже в сравнении с активностью антибиотика «Канамицин», противогрибковая также значительно ниже, чем под действием противогрибкового препарата «Флуконазол».

Таким образом, полученные экспериментальные данные *in vitro* подтверждают гипотезу о противомикробном действии пептида, выдвинутую на основании исследования его физико-химических характеристик (количество аминокислот, молекулярная масса, пептидная последовательность, заряд, гидрофобность, изоэлектрическая точка, структура).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производители пищевых продуктов стремятся к созданию и применению натуральных, эффективных, безопасных и недорогих заменителей синтетических консервантов, увеличивающих срок годности вырабатываемой продукции. Молочный белок является легкодоступным источником антимикробных пептидов, вызывающих все больший интерес к применению в качестве безопасных пищевых добавок для увеличения срока годности продуктов питания. Такие пептиды обладают широким спектром действия в отношении бактерий и грибов. Выделенный из молочного белка антимикробный пептид является многообещающей альтернативой химическим консервантам, используемым в пищевой промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Hager E., Chen J., Zhao L. Minireview: parabens exposure and breast cancer // *Int J Environ Res Public Health*. 2022. Vol. 19(3). P. 1873. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031873>.
2. Guha S., Sharma H., Deshwal G.K. A comprehensive review on bioactive peptides derived from milk and milk products of minor dairy species // *Food Prod Process and Nutr*. 2021. Vol. 3:2. P. 1–15. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-00045-7>.
3. Sharma C., Rokana N., Chandra M., Singh B.P., Gulhane R.D., Gill J.P.S., Ray P., Puniya A.K., Panwar H. Antimicrobial resistance: its surveillance, impact, and alternative management strategies in dairy animals // *Front Vet Sci*. 2018. Vol. 4. P. 1–27.
4. Shivanna S.K., Nataraj B.H. Revisiting Therapeutic and Toxicological Fingerprints of Milk-Derived Bioactive Peptides: An Overview // *Food Biosci*. 2020. P. 100771. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100771>.
5. Беризовская Е.И., Ихалайнен А.А., Антонин А.М., Таранченко В.Ф., Гончаров В.М., Митрофанов Д.А., Удинцев А.В., Аксенов А.В., Шевлякова О.А., Родин И.А., Шпигун О.А. Методы обработки масс-спектрометрических данных при идентификации пептидов и белков // *Вестник Московского университета Сер. 2. Химия*. 2015. № 5. С. 266–327.
6. Niaz B., Saeed F., Ahmed A., Imran M., Maan A.A., Khan M.K.I., Suleria H.A.R. Lactoferrin (LF): a natural antimicrobial protein // *Int J Food*. 2019. Vol. 22. P. 1626–1641. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1666137>.
7. Singh A., Duche R.T., Wandhare A.G. [et al.]. Milk-Derived Antimicrobial Peptides: Overview, Applications, and Future Perspectives // *Probiotics & Antimicro*. 2023. Vol. 15. P. 44–62. <https://doi.org/10.1007/s12602-022-10004-y>.
8. Sansi M.S., Iram D., Zanab S., Vij S., Puniya A.K., Singh A., Meena S. Antimicrobial bioactive peptides from goat Milk proteins: in silico prediction and analysis // *J Food Biochem*. 2022. Vol. 5. P. 14311. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14311>.
9. Yount N.Y., Bayer A.S., Xiong Y.Q., Yeaman M.R. Advances in antimicrobial peptide immunobiology // *Biopolymers*. 2006. Vol. 84. P. 435–

458. <https://doi.org/10.1002/bip.20543>.

Информация об авторах

С. Л. Тихонов – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции Российского государственного аграрного университета МСХА имени К. А. Тимирязева.

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

И. Г. Пестова – старший преподаватель кафедры технологии и организации питания и услуг Пермского института (филиала) РЭУ им. Г.В. Плеханова.

Н. В. Мерзлякова – генеральный директор Хладокомбината № 3.

Information about the authors

S.L. Tikhonov - Doctor of Technical Sciences, Professor Head of the Department of Technology of Storage and Processing of Fruit and vegetable and Crop Products of the Russian State Agricultural University of the Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev.

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

I.G. Pestova - Senior Lecturer of the Department of Technology and organization of catering and services of the Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics.

N.V. Merzlyakova - General Director of the Refrigerating plant No. 3.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.65

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.021



ПОВЫШЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ ИТАЛЬЯНСКОГО ХЛЕБА ПРИ ВВЕДЕНИИ ФЛАВОНОИДСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Алексей Анатольевич Федотов ¹, Наила Элханкызы Тагиева ²,
Анна Викторовна Борисова ³

^{1, 2, 3} Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

¹ fedotov23.f@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3570-0018>

² naila-tagieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3001-6479>

³ anna_borisova_63@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-987X>

Аннотация. В статье исследуется возможность обогащения хлебобулочных изделий ингредиентами растительного происхождения с целью повышения содержания в них флавоноидов. Флавоноиды регулируют клеточный метаболизм и принимают участие в защите человеческого организма от окислительного стресса. Потребление флавоноидов предотвращает некоторые виды сердечно-сосудистых заболеваний, диабета, позволяет избежать ожирения, что делает флавоноиды важным элементом для создания продукта функционального назначения. В рамках решения вопроса о повышении количества флавоноидов в пищевых продуктах было принято решение добавить флавоноидсодержащие компоненты растительного происхождения в итальянский хлеб. В качестве таких компонентов использовали добавки растительного происхождения: черноплодную рябину и крапиву. Было проведено исследование, включающее два основных этапа. На первом этапе проводился анализ качества сырья растительного происхождения, в ходе которого были определены его физико-химические свойства: титруемая кислотность, влажность, антиоксидантная активность, а также содержание пищевых волокон, флавоноидов, витамина С и сухих веществ. Содержание флавоноидов в крапиве составило 149,6 мг катехина на 100 г сырья, в черноплодной рябине – 273,2 мг катехина на 100 г сырья. На втором этапе были оценены органолептические и физико-химические свойства итальянского хлеба Чиабатта. По результатам оценки выявлено, что применение растительных добавок повышает выход готовых изделий, так, в контрольном образце упек составил 16 %, в образце с крапивой – 13 %, в образце с черноплодной рябиной – 15 %. Кислотность готового изделия при введении растительных добавок возрастает, влажность, напротив же, уменьшается. Что касается пористости готового изделия, то с добавлением пюре черноплодной рябины она возрастает на 3 % по сравнению с контролем, а с добавлением пюре крапивы, напротив, уменьшается на 2,9 %. На основе исследований можно утверждать, что использование растительных добавок позволяет обогатить хлебобулочные изделия флавоноидами и улучшить их органолептические свойства.

Ключевые слова: хлеб, хлебобулочное изделие, чиабатта, крапива, черноплодная рябина, флавоноиды, обогащение хлеба, пищевая ценность.

Для цитирования: Федотов А. А., Тагиева Н. Э., Борисова А. В. Повышение питательной ценности итальянского хлеба при введении флавоноидсодержащих добавок растительного происхождения // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 156–162. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.021. EDN: <https://elibrary.ru/IKFDBO>.

Original article

INCREASING NUTRITIONAL VALUE OF ITALIAN BREAD WITH THE INTRODUCTION OF FLAVONOID-CONTAINING ADDITIVES OF VEGETABLE ORIGIN

Aleksey A. Fedotov ¹, Naila E. Tagieva ², Anna V. Borisova ³

^{1, 2, 3} Samara State Technical University, Samara, Russia

¹ fedotov23.f@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3570-0018>

² naila-tagieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3001-6479>

³ anna_borisova_63@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-987X>

Abstract. *The article explores the possibility of enriching bakery products with ingredients of plant origin, in order to increase the content of flavonoids in them. Flavonoids regulate cellular metabolism and take part in protecting the human body from oxidative stress. The consumption of flavonoids prevents some types of cardiovascular diseases, diabetes, avoids obesity, which makes flavonoids an important element for creating a functional product. As part of the solution to the issue of increasing the amount of flavonoids in food products, it was decided to add flavonoid-containing components of vegetable origin to Italian bread. As such components, additives of plant origin were used - chokeberry and nettle. A study was conducted that includes two main stages. At the first stage, the quality of raw materials of plant origin was analyzed, during which its physico-chemical properties were determined: titrated acidity, humidity, antioxidant activity, as well as the content of dietary fiber, flavonoids, vitamin C and dry substances. The content of flavonoids in nettle was 0.15%, in chokeberry - 0.27%. At the second stage, the organoleptic and physico-chemical properties of Italian bread "Ciabatta" were evaluated. According to the evaluation results, it was revealed that the use of vegetable additives increases the yield of finished products, so, from 250 g of dough, when adding mashed chokeberry, 2.2 g more ready-made bread is obtained, and when adding nettle puree - by 6.2 g. The acidity of the finished product increases with the introduction of vegetable additives, humidity on the contrary decreases. As for the porosity of the finished product, with the addition of mashed chokeberry, it increases by 3 % compared to the control, and with the addition of mashed nettle, on the contrary, it decreases by 2.9 %. Based on research, it can be argued that the use of herbal additives allows you to enrich bakery products with flavonoids and improve their baking qualities.*

Keywords: *bread, bakery products, ciabatta, nettles, blackberry, flavonoids, bread enrichment, nutritional value.*

For citation: Fedotov, A.A., Tagieva, N.E., Borisova, A.V. (2023). Increasing nutritional value of Italian bread with the introduction of flavonoid-containing additives of vegetable origin. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 156-162. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.021. <https://elibrary.ru/IKFDBO>.

ВВЕДЕНИЕ

Флавоноиды представляют собой полифенольные соединения растительного происхождения, их можно отнести к продуктам вторичного метаболизма растений. Данная группа соединений участвует как в пигментации растений, так и процессе роста и развития. Наиболее частой функцией флавоноидов является участие их в процессе защиты от неблагоприятных условий, таких как повышение концентрации тяжёлых металлов и ультрафиолетовое облучение. Последние исследования предполагают участие флавоноидов в процессах экспрессии генов, а также в регуляции клеточного деления. Одной из основных функций флавоноидов является защита рас-

тений от окислительного стресса благодаря антиоксидантной активности [1, 2, 3].

В организме животного и человека флавоноиды не синтезируются, их наличие в клетках зависит от потребления в пищу растительных продуктов. Исследования показали, что смертность от инфарктов миокарда характеризуется обратной корреляцией с потреблением флавоноидов. Всемирная организация здравоохранения рекомендует употреблять 400 г фруктов и овощей, содержащих флавоноиды, ежедневно, что предотвращает ожирение, некоторые виды сердечно-сосудистых заболеваний, диабета. Высокоактивные лекарственные препараты на основе флавоноидов обладают антиоксидант-

ной, противовирусной, антипаразитной, бактерицидной активностью [4, 5].

Флавоноиды относят к функциональным пищевым ингредиентам согласно ГОСТ Р 54059. Соответственно, их содержание в порции продукта в дозировке выше 15 % от суточной потребности делает продукт функциональным, что особенно важно в связи с ухудшающимся состоянием здоровья населения, снижения иммунитета после эпидемии коронавируса, продолжающейся тенденции увеличения раковых заболеваний. Поскольку функциональный продукт питания должен употребляться в пищу систематически и регулярно, наиболее удобным продуктом для модификации и обогащения его флавоноидами являются хлеб и хлебобулочные изделия. Данные изделия являются источниками углеводов, витаминов, в частности группы В, микро- и макроэлементов, таких как магний, железо. Кроме этого, данные продукты оказывают пребиотический эффект за счёт содержащихся пищевых волокон, что влечёт за собой укрепление иммунной системы. Фолиевая кислота, содержащаяся в хлебобулочных изделиях, способствует нормальному формированию плода у беременных. В качестве хлебопекарных добавок возможно использование нетрадиционного сырья растительного происхождения, которое обогащает хлебобулочные изделия биологически активными веществами. В качестве нетрадиционного сырья нами предложено использовать черноплодную рябину и крапиву.

Черноплодная рябина богата витаминами группы В, С, А, Р, К, макро- и микроэлементами, такими как бор, марганец, фосфор, железо, молибден, йод. Благодаря сорбиту, содержащемуся в плодах, стабилизируется сахар в крови. Крапива содержит аскорбиновую кислоту, витамины группы В, Е, К, каротин и каротиноиды [6–9].

Национальные хлебобулочные изделия завоевывают все большую популярность у населения России, в частности итальянский хлеб Чиабатта. Изделие отличается хрустящей корочкой, крупными порами и употребляется как в самостоятельном виде, так и используется для приготовления различных сэндвичей и бутербродов. Целью данной работы являлась разработка рецептуры приготовления итальянского хлеба чиабатты функциональной направленности с повышенным содержанием флавоноидов за счет добавления в тесто пюре из черноплодной рябины и крапивы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в два основных этапа.

На первом этапе объектом исследования являлось сырьё растительного происхождения: крапива и черноплодная рябина. Целью этого этапа служил анализ качества данного растительного сырья, в ходе которого были определены его физико-химические свойства: титруемая кислотность по ГОСТ ISO 750-2013, влажность по ГОСТ 28561-90, антирадикальная активность, а также содержание пищевых волокон по методике Геннесберга и Штомана, приведенной в [10], флавоноидов, витамина С по ГОСТ 24556-89 и сухих веществ по ГОСТ 28561-90.

Содержание флавоноидов в растительных объектах измеряли с использованием модифицированного метода [11] по реакции с нитритом натрия и хлоридом алюминия. Содержание флавоноидов выражали в мг эквивалентов катехина в 100 г исходного сырья. Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

Антирадикальная активность образцов измерялась в соответствии с методом DPPH [12]. Методика основана на способности антиоксидантов исходного сырья связывать стабильный хромоген-радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH). Антирадикальную активность выражали в виде концентрации исходного объекта в мг/мл, при которой происходило связывание 50 % радикалов. Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

Объектом исследований второго этапа был итальянский пшеничный хлеб Чиабатта подовый. За основу для производства хлеба взяли пшеничную муку высшего сорта. Выпекали три образца хлеба:

Образец № 1 – контрольный образец, приготовленный по стандартной рецептуре. В ёмкость наливали 110,5 г теплой воды, добавляли 1,5 г соли, 2,5 г сухих дрожжей, 25,5 г пшеничной муки и перемешивали ингредиенты, чтобы они разошлись в жидкости. Затем в миску небольшими порциями добавляли 110 г предварительно просеянной пшеничной муки, замешивая тесто до немного жидкой и липкой консистенции. После этого тесто накрывали и выдерживали 90 мин при 32 °С, чтобы оно поднялось, увеличиваясь в объеме в два раза. Поднявшееся тесто обминали, обваливали в муке, придавая ему форму батона, и переносили на противень, где, накрыв заготовку хлеба полотенцем, выдерживали 30 мин. По истечении этого времени заготовку помещали в разогретую печь и выпекали при 220 °С 30 мин.

Образец № 2 приготовлен по примеру образца № 1, но отличается тем, что вносится 21,4 г пюре из крапивы взамен части воды.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2023

ПОВЫШЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ ИТАЛЬЯНСКОГО ХЛЕБА ПРИ ВВЕДЕНИИ ФЛАВОНОИДСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Образец № 3 приготовлен по примеру образца № 1, но отличается тем, что вводится 11,7 г пюре из черноплодной рябины взамен части воды.

Массы растительных добавок рассчитаны таким образом, чтобы одна порция продукта содержала 16 % от суточной нормы флавоноидов (32 мг), исходя из того, что в 100 г крапивы содержится 149,6 мг флавоноидов, а в 100 г рябины – 273,02 мг флавоноидов.

В процессе приготовления хлеба важное место занимает оценка качества теста, а именно его кислотность. Кислотность теста определяли по общепринятой методике визуального титрования раствором 0,1 М гидроксида натрия. В готовом хлебе важными показателями качества являются кислотность, влажность, пористость, выход хлеба и его органолептические показатели.

Для оценки органолептических свойств итальянского хлеба использовали ГОСТ 5667-2022. Кислотность готовых хлебобулочных изделий определяли по ГОСТ 5670-96, влажность по ГОСТ 21094-75, пористость по ГОСТ 5669-96 [13–17]. Упек хлебобулочных изделий определяли по разнице массы тестовой заготовки и

готового горячего хлеба, выраженной в процентах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Хлебобулочные изделия – одни из самых распространённых продуктов в ежедневном рационе питания, поэтому для создания оригинального вкусоароматического букета было решено использовать в качестве добавок пюре из растительного сырья, а именно из листьев крапивы и из плодов черноплодной рябины.

Физико-химические свойства данных видов сырья представлены в таблице 1.

Кислотность теста контрольного образца, приготовленного по классической рецептуре, равна 3 град. При введении растительных добавок происходит повышение кислотности: в тесте с добавлением пюре крапивы кислотность составила 4,64 град, в тесте с добавлением пюре черноплодной рябины – 5,55 град. Повышение кислотности теста с добавками растительного сырья связано с содержанием органических кислот в крапиве и черноплодной рябине (табл. 1).

Таблица 1 – Физико-химические свойства растительного сырья

Table 1 – Physico-chemical properties of vegetable raw materials

Показатель	Образец	
	Крапива	Черноплодная рябина
Титруемая кислотность, ммоль Н+ на 100 см ³ продукта,	0,8	1,3
Влажность, %	92,0	86,0
Антиоксидантная активность, E _{c50} , мг/мл	50,5	6,1
Содержание пищевых волокон, %	0,23	3,33
Содержание флавоноидов, мг катехина на 100 г исходного сырья	149,6	273,02
Содержание витамина С, %	4,03	4,09
Содержание сухих веществ, %	8,0	14,0

При визуализации органолептических характеристик тестовых заготовок на этапе технологического цикла «замес» отмечены следующие изменения (табл. 2).

Образец тестовой заготовки № 1 в процессе технологических этапов не показал отличительных особенностей и соответствовал стандартным показателям качества для изделий из пшеничной муки. Форма тестовой заготовки правильная, выпуклая, влажная, не расплывающаяся, цвет образца светло-желтый, посторонних запахов не обнаружено.

Образец тестовой заготовки № 2 имеет ряд особенностей. Форма тестовой заготовки

правильная, выпуклая, влажная, не расплывающаяся, цвет образца светло-салатовый, посторонних запахов не обнаружено, присутствует выраженный аромат крапивы.

Образец тестовой заготовки № 3 имеет незначительные особенности. Форма тестовой заготовки правильная, выпуклая, влажная, не расплывающаяся, цвет образца светло-фиолетовый, посторонних запахов не обнаружено.

Визуальные характеристики готовых образцов хлебобулочных изделий представлены в таблице 3.







Таблица 2 – Показатели качества образцов тестовых заготовок

Table 2 – Quality indicators of test pieces samples

Показатель	Образец тестовой заготовки		
	№ 1	№ 2	№ 3
Внешний вид	Свойственный данному виду изделия		
Консистенция	Мягкая		
Цвет	Светло-желтый	Светло-салатовый	Светло-фиолетовый
Запах	Свойственный изделию из пшеничной муки, без постороннего запаха	Свойственный внесенному ингредиенту (крапива)	Свойственный внесенному ингредиенту (черноплодная рябина)
Степень подъема и разрыхленности	Высокая	Нормальная	
Промес	Однородный		
Степень сухости поверхности	Влажная		

Таблица 3 – Визуальные характеристики готовых хлебобулочных изделий

Table 3 – Visual characteristics of finished bakery products

Образец	Готовое изделие	Разрез готового изделия
Контроль		
С крапивой		
С черноплодной рябиной		

Физико-химические характеристики готовых образцов хлебобулочных изделий представлены в таблице 4. Оценка органолептических показателей готовых изделий представлена в таблице 5.

Применение добавок растительного происхождения снижает процент упека изделий. Так, в контрольном образце упек составил 16 %, в образце № 2 с пюре крапивы – 13 %, в образце № 3 с пюре черноплодной рябины – 15 %.

Кислотность готового изделия при введении растительных добавок возрастает. В образце с добавлением пюре крапивы кислотность составила 3,9 град, в образце с до-

бавлением пюре черноплодной рябины – 4,7 град, в то время как в контрольном образце она составила только 2,6 град.

Влажность готового хлебобулочного изделия, напротив, при использовании добавок уменьшается. В контрольном образце она равна 48 %, в образце с черноплодной рябиной – 44 %, а в образце с крапивой уже – 40 %.

Что касается пористости готового изделия, то на неё добавки из растительного сырья подействовали по-разному. В образце с добавлением пюре из ягод черноплодной рябины пористость возросла на 3 % по сравнению с контролем (пористость контрольного образ-

ПОВЫШЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ ИТАЛЬЯНСКОГО ХЛЕБА ПРИ ВВЕДЕНИИ ФЛАВОНОИДСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

ца 64,7 %) и составила 67,7 %. В образце с добавлением пюре из листьев крапивы пористость, напротив, уменьшилась на 2,9 % по сравнению с контролем и составила 61,8 %.

Таблица 4 – Физико-химические характеристики готовых образцов хлебобулочных изделий
Table 4 – Physico-chemical characteristics of finished samples of bakery products

Показатель	Образец хлебобулочного изделия		
	№ 1	№ 2	№ 3
Кислотность, град	2,6	3,9	4,7
Влажность, %	48,0	40,0	44,0
Пористость, %	64,7	61,8	67,7
Упек, %	16,0	13,0	15,0

Таблица 5 – Органолептические характеристики готовых хлебобулочных изделий

Table 5 – Organoleptic characteristics of finished bakery products

Показатель	Образец		
	№ 1	№ 2	№ 3
Внешний вид (форма и поверхность)	Соответствующие виду изделия	Соответствующие виду изделия	Соответствующие виду изделия
Внешний вид (цвет)	Светло-коричневый	Коричневый	Пурпурно-коричневый
Текстура мякиша	Пропеченный, без следов непромеса и посторонних включений, не влажный на ощупь. Эластичный, после легкого надавливания пальцами быстро принимает первоначальную форму	Пропеченный, без следов непромеса, с кусочками крапивы, не влажный на ощупь. Эластичный, после легкого надавливания пальцами быстро принимает первоначальную форму	Пропеченный, без следов непромеса, с кусочками чёрной рябины, не влажный на ощупь. Эластичный, после легкого надавливания пальцами быстро принимает первоначальную форму
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений	Развитая, без пустот и уплотнений	Развитая, без пустот и уплотнений
Вкус и запах	Свойственные изделию из пшеничной муки	Свойственные изделию с добавлением крапивы	Свойственные изделию с добавлением черноплодной рябины

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе вышеизложенного можно утверждать, что использование растительных добавок в виде пюре из крапивы и пюре из ягод черноплодной рябины при производстве хлебобулочных изделий в целом, и итальянского пшеничного хлеба Чиабатта в частности, позволяет обогатить готовый продукт флавоноидами, биологически активными веществами, пищевыми волокнами. Такие изделия можно представлять как продукты функционального назначения. Кроме того, использование нетрадиционных ингредиентов позволяет разнообразить вкус хлебобулочных изделий и расширить ассортимент изделий с добавками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корулькин Д.Ю. [и др.]. Природные флавоноиды. Новосибирск : Гео, 2007. 232 с.
2. Валиева А.И., Абдрахимова Й.Р. Вторичные метаболиты растений: физиологические и биохимические аспекты : учеб.-методич. пособие. Казань : Казанский Федеральный университет, 2010. 40 с.
3. Федосеева Г.М., Минович В.М., Переломова М.В. Фитохимический анализ растительного сырья,

содержащего флавоноиды : методич. пособие по фармакогнозии. Иркутск : Иркутский государственный медицинский университет, 2009. 67 с.

4. Тюкавкина Н.А. Биофлавоноиды. Химия, пища, лекарства, здоровье. М. : Русский врач, 2002. 56 с.

5. Куркин В.А. [и др.]. Антиоксидантная активность некоторых тонизирующих и гепатопротекторных фитопрепаратов, содержащих флавоноиды и фенилпропаноиды // Растительные ресурсы. 2008. № 1. С. 122–129.

6. Логвинова Е.Е., Брежнева Т.А., Сливкин А.И. Качественный и количественный анализ флавоноидов в плодах рябины черноплодной // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015. № 8. С. 47–48.

7. Логвинова Е.Е. [и др.]. Химический состав плодов аронии различных сортов // Фармация. 2015. № 6. С. 22–26.

8. Копытько Я.Ф., Лапинская Е.С., Сокольская Т.А. Применение, химический состав и стандартизация сырья и препаратов *Urtica* // Химико-фармацевтический журнал. 2011. № 10. С. 32–40.

9. Сошникова О.В. Изучение химического состава и биологической активности растений рода крапива : дис. ... канд. фарм. наук. Курск, 2006. 16 с.

10. Мельникова, Е.И., Скрыльникова Е.С., Рудниченко Е.С. Анализ функционально-технологических свойств различных пищевых волокон // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2014. Т. 334, № 4. С. 62–64.

11. Dhingra N., Kar A., Sharma R., Bhasin S. In-

vitro antioxidative potential of different fractions from *Prunus dulcis* seeds: Vis a vis antiproliferative and antibacterial activities of active compounds // South African Journal of Botany. 2017. V. 108. C. 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.10.013>.

12. Wei F., Chen Q., Du Y., Han C., Fu M., Jiang H., Chen X. Effects of hulling methods on the odor, taste, nutritional compounds and antioxidant activity of walnut fruit // LWT – Food Science and Technology. 2019. V. 120. C. 108938. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108938>.

13. ГОСТ 31806-2012. Полуфабрикаты хлебобулочных замороженных и охлажденных : введ. 2013-07-01. М. : Издательство стандартов, 2013. 23 с.

14. ГОСТ 31805-2018. Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Общетеchnические условия : введ. 2019-11-01. М. : Издательство стандартов, 2019. 19 с.

15. ГОСТ 5670-96. Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности : введ. 1997-08-01. М. : Издательство стандартов, 2006. 8 с.

16. ГОСТ 5900-73. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ : введ. 1975-01-01. М. : Издательство стандартов, 2012. 9 с.

17. ГОСТ 5669-96. Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости : введ. 1997-08-01. М. : Издательство стандартов, 2006. 5 с.

Информация об авторах

А. А. Федотов – магистрант Самарского государственного технического университета.

Н. Э. Тагиева – магистрант Самарского государственного технического университета.

А. В. Борисова – доцент, к.т.н., доцент Высшей биотехнологической школы Самарского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Korulkin, D.Yu., Abilov, Zh.A., Muzychkina, R.A. & Tolstikov, G.A. (2007). Natural flavonoids. Novosibirsk: Geo. (In Russ.).

2. Valieva, A.I. & Abdrakhimova, Y.R. (2010). Secondary plant metabolites: physiological and biochemical aspects: educational and methodical manual. Kazan : Kazan Federal University. (In Russ.).

3. Fedoseeva, G.M., Mirovich, V.M. & Perelomova, M.V. (2009). Phytochemical analysis of plant raw materials containing flavonoids. Methodical manual on pharmacognosy. Irkutsk : Irkutsk State Medical University. (In Russ.).

4. Tyukavkina, N.A. (2002). Bioflavonoids. Chemistry, food, medicines, health. Moscow : Russian doctor. (In Russ.).

5. Kurkin, V.A., Kulagin, O.L., Dodonov, N.S., Tsareva, A.A., Avdeeva, E.V., Barabash, S.V., Lyashenko, M.V., Kurkina, A.V., Dremova, E.A., Satdarova, F.Sh. & Ryzhov, V.M. (2008). Antioxidant activity of some tonic and hepatoprotective phytopreparations containing flavonoids and phenylpropanoids. Plant resources, (1), 122-129. (In Russ.).

6. Logvinova, E.E., Brezhneva, T.A., & Slivkin, A.I. (2015). Qualitative and quantitative analysis of flavonoid in produce of black chokeberry. Questions of biological, medical and pharmaceutical chemistry, (8), 47-48. (In Russ.).

7. Logvinova, E.E., Brezhneva, T.A., Samylina, I.A. & Slivkin, A.I. (2015). Chemical composition of chokeberry (*Aronia*) of different varieties. Pharmacy, (6), 22-26. (In Russ.).

8. Kopytko, Ya.F., Lapinskaya, E.S., Sokolskaya T.A. Application, chemical composition and standardization of raw materials and *Urtica* preparations. Chemical and Pharmaceutical Journal, (10), 32-40. (In Russ.).

9. Soshnikova, O.V. (2006). Research of chemical composition and biological activity of plants of the genus *Urtica*. Extended abstract of Doctor's thesis. Kursk. (In Russ.).

10. Melnikova, E.I., Skrylnikova, E.S., Rudnichenko, E.S. Analysis of functional and technological properties of various food fibers. News institutes of higher Education. Food technology. 2013; 334(4):62-64. (In Russ.).

11. Dhingra, N., Kar, A., Sharma, R., Bhasin, S. In-vitro antioxidative potential of different fractions from *Prunus dulcis* seeds: Vis a vis antiproliferative and antibacterial activities of active compounds // South African Journal of Botany. 2017. V. 108. C. 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.10.013>.

12. Wei, F., Chen, Q., Du, Y., Han, C., Fu, M., Jiang, H., Chen, X. Effects of hulling methods on the odor, taste, nutritional compounds, and antioxidant activity of walnut fruit // LWT - Food Science and Technology. V. 120. C. 108938. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108938>.

13. Frozen and cooled prepared baking mixes. General specifications. (2013). HOST 31806-2012.from 1 January 2013. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

14. Bakery products from wheat baking flour. General specifications. (2019). HOST 31805-2018.from 1 November 2019. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

15. Bread, rolls and buns. Methods for determination of acidity. (1997). HOST 5670-96.from 1 August 2006. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

16. Confectionery. Methods for determination of moisture and dry substances. (1975). HOST 5900-73. from 1 January 2012. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

17. Bakery products. Method for determination of porosity. (1997). HOST 5669-96.from 1 August 2006. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

Information about the authors

A.A. Fedotov - undergraduate at Samara State Technical University.

N.E. Tagieva - undergraduate at Samara State Technical University.

A.V. Borisova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the High Biotechnology School of the Samara State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 573.6.086.83

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.022

 EDN: UORPYV

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ β -ГАЛАКТАЗИДАЗЫ НА ГИДРОЛИЗ ЛАКТОЗЫ В МОЛОКЕ

Медведев Александр Александрович¹, Пелеганчук Юрий Алексеевич²,
Оксана Владимировна Кольтюгина³, Юлия Геннадьевна Стурова⁴,
Татьяна Александровна Стопорева⁵

^{1,2,3,4,5} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ doctoralex661.com@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6064-9096>

² peleganchuk2702@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7018-1271>

³ oksana2310@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6747-4049>

⁴ y_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

⁵ orpd_sta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4987-9509>

Аннотация. Продукты из молока играют важную роль в жизнедеятельности человека, но у некоторых категорий населения возникают проблемы переваривания лактозы в желудочно-кишечном тракте, так как их организм не вырабатывает фермент β -галактозидазу, который отвечает за гидролиз лактозы. В этом случае они вынуждены исключить из своего рациона молочные продукты, которые обладают высокой пищевой и биологической ценностью. Разработка и исследование технологии получения низколактозного молока с использованием фермента β -галактозидазы позволяет расширить ассортимент безлактозных и низколактозных молочных продуктов. Целью данной работы было определить оптимальное соотношение вносимого фермента и температурных условий, при которых фермент осуществляет гидролиз. Фермент вносился в количестве от 0,2 % до 2 %, действие фермента происходило в температурных условиях от 6 ± 2 °C до 38 ± 2 °C. При оценке полученных показателей принималось во внимание процентное значение оставшейся лактозы. Также для обоснования выводов, полученных в ходе исследования, проведена математическая и статистическая обработка результатов, построена математическая модель. Согласно анализу математической модели, были оценены оптимальные значения факторов.

Ключевые слова: лактоза, низколактозное молоко, лактаза, йодометрический метод, математическая обработка, β -галактазидаза, математическая модель.

Для цитирования: Математическая обработка результатов оценки действия β -галактозидазы на гидролиз лактозы в молоке / А. А. Медведев [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 163–169. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.022. EDN: <https://elibrary.ru/UORPYV>.

Original article

MATHEMATICAL PROCESSING OF RESULTS EVALUATION OF ACTION OF β -GALACTAZIDASE ON HYDROLYSIS OF LACTOSE IN MILK

Alexander A. Medvedev¹, Yuri A. Peleganchuk², Oksana V. Koltyugina³,
Yulia G. Sturova⁴, Tatiana A. Stoporeva⁵

^{1,2,3,4,5} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ doctoralex661.com@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6064-9096>

² peleganchuk2702@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7018-1271>

© Медведев А. А., Пелеганчук Ю. А., Кольтюгина О. В., Стурова Ю. Г., Стопорева Т. А., 2023

³ oksana2310@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6747-4049>

⁴ y_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

⁵ orpd_sta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4987-9509>

Abstract. *Milk products play an important role in human life, but some categories of the population have problems digesting lactose in the gastrointestinal tract, since their body does not produce the enzyme β -galactosidase, which is responsible for the hydrolysis of lactose. In this case, they are forced to exclude dairy products from their diet, which have high nutritional and biological value. The development and research of technology for producing low-lactose milk using the enzyme β -galactosidase allows expanding the range of lactose-free and low-lactose dairy products. The purpose of this work was to determine the optimal ratio of the introduced enzyme and the temperature conditions under which the enzyme performs hydrolysis. The enzyme was introduced in an amount from 0.2% to 2 %, the action of the enzyme occurred in temperature conditions from $6 \pm 2^\circ\text{C}$ to $38 \pm 2^\circ\text{C}$. When evaluating the obtained indicators, the percentage value of the remaining lactose was taken into account. Also, to substantiate the conclusions obtained during the study, mathematical and statistical processing of the results was carried out, a mathematical model was built. According to the analysis of the mathematical model, the optimal values of the factors were estimated.*

Keywords: *lactose determination, low-lactose milk, lactase, iodometric method of lactose determination, mathematical processing, β -galactosidase, mathematical model.*

For citation: Medvedev, A. A., Peleganchuk, Yu. A., Koltyugina, O. V., Sturova, Yu. G. & Stoporeva, T. A. (2023). Mathematical processing of results evaluation of action of β -galactosidase on hydrolysis of lactose in milk. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 163-169. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.022. <https://elibrary.ru/UORPYV>.

ВЕДЕНИЕ

В настоящее время возрастает число людей, которые из-за особенностей организма не могут употреблять молоко и молочные продукты в пищу из-за лактазной недостаточности или непереносимости лактозы, такие люди страдают непереносимостью лактозы. Непереносимость лактозы может быть врожденной, связанной с генетической предрасположенностью организма или приобретенной в результате влияния различных факторов [1, 2]. У жителей некоторых стран (Мексика, Вьетнам, Уганда, Кипр) утрата лактазной активности отмечается у подавляющего числа людей, причем в довольно раннем периоде жизни. В Таиланде 98 % населения не усваивают молочный сахар.

При недостаточности фермента лактазы гидролиз молочного сахара нарушается, что приводит к непереносимости молока. Непереносимость обусловлена тем, что лактоза не всасывается, и в таком случае ее начинают использовать кишечные бактерии. В результате этого образуются молочная, уксусная и другие органические кислоты, а также газы. Эти побочные продукты раздражают слизистую кишечника и задерживают всасывание воды, что и является причиной возникновения диареи или кишечной диспепсии. При старении организма, как правило, непереносимость молока, как и ряда других продуктов, возрастает, так как с возрастом снижается активность ферментов [1–3].

Для того чтобы не убирать из рациона человека молочные продукты, обладающие высокой пищевой и биологической ценностью, необходимо удалить лактозу из молока (получится безлактозное молоко с содержанием лактозы не более 0,1 г на 1 л готовой продукции) либо ее гидролизовать (низколактозное с содержанием лактозы – более 0,1 г на литр). Получение безлактозного и низколактозного молока возможно с использованием следующих технологических способов: удаление лактозы с помощью фильтрации, при внесении в молоко фермента β -галактозидазы и с помощью заквашивания молока закваской [4].

Суть первого способа состоит в следующем: сначала проводят гидролиз лактозы, затем гидролизованное молоко подвергают двухступенчатой нанофильтрации с целью отделения белка в ретентат первой нанофильтрации, а сахаров и минеральных веществ – в пермеат. Далее проводят вторую нанофильтрацию пермеата первой нанофильтрации для отделения сахаров в ретентат второй нанофильтрации, а минеральных веществ в пермеат второй нанофильтрации. В результате получают безлактозный или низколактозный молочный продукт с желаемой композицией, содержащий ретентат первой нанофильтрации, полученный на стадии 2, и пермеат второй нанофильтрации, полученный на стадии 3 [5–7].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ β -ГАЛАКТАЗИДАЗЫ НА ГИДРОЛИЗ ЛАКТОЗЫ В МОЛОКЕ

Второй способ состоит в том, что в нормализованное, гомогенизированное молоко вносят фермент, гидролизующий лактозу, и выдерживают смесь при температуре от 2 °С до 62 °С в течение 24 часов [5–7].

Третий способ подразумевает использование микроорганизмов, что в результате дает продукт, который уже нельзя назвать молоком.

В настоящее время в России есть несколько крупных производителей безлактозного молока. К ним относятся: Останкинский молочный комбинат, компания «Братья Чебурашкины», молочный комбинат «Ставропольский», ООО «Фирма «Лактовит» в Иркутске, Parmalat в Белгородской области и ГК «Лосево» в Ленинградской области [9].

На сегодняшний день производство безлактозного и низколактозного молока является перспективной задачей в производстве молочных продуктов.

Целью работы было проведение исследований по влиянию различных температурных режимов на активность лактазы, под влиянием которой идет ферментативный гидролиз лактозы в молоке.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определение содержания лактозы в исследуемых образцах с разной массовой долей внесения β -галактазидазы и выдержкой этих образцов при различных температурных режимах;
- проведение статистической обработки полученных результатов, получение корреляционных зависимостей;
- определение оптимальной дозы β -галактазидазы и температуры выдержки образцов с помощью построения математической модели двухфакторного эксперимента.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Показатели кислотности определялись согласно методике, описанной в ГОСТ Р 54669-2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности».

Показатели массовой доли жира опре-

делялись согласно методике, описанной в ГОСТ 5867-90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира».

Показатели массовой доли сухого обезжиренного молочного остатка определялись согласно методике, описанной в ГОСТ Р 54761-2011 «Молоко и молочная продукция. Методы определения массовой доли сухого обезжиренного молочного остатка».

Показатели массовой доли белка определялись согласно методике, описанной в ГОСТ 25179-2014 «Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка».

Показатели массовой доли лактозы определялись согласно ГОСТ Р 54667-2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров».

Для обоснования полученных результатов физико-химической оценки проведена математическая обработка данных экспериментальных данных, получены корреляционные зависимости и построена математическая модель.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для исследований использовалось молоко с физико-химическими показателями, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели молока

Table 1 – Physico-chemical parameters of the milk

Сырье	Кислотность, °Т	Активная кислотность, рН	Массовая доля жира, %	Массовая доля лактозы, %	Массовая доля белка, %
Молоко	18	6,3	2,23	4,6	2,75

Затем в подготовленное молоко вносили разные дозы β -галактазидазы и выдерживали при разных температурных режимах. Температура выдержки образцов и количество вносимого фермента представлены в таблице 2. По истечении 24 часов после внесения фермента в исследуемых образцах определялось остаточное количество лактозы.

Таблица 2 – Состав и температурные условия хранения исследуемых образцов

Table 2 – Composition and temperature storage conditions of the studied samples

Наименование образца	Температура выдержки образцов, °С	Доза вносимого фермента β -галактазидазы, $\omega_{\text{ф}}$, %	Массовая доля лактозы, $\omega_{\text{л}}$, %
Образец 1	38±2	0,2	0,44±0,01
Образец 2	18±2	0,2	1,56±0,02
Образец 3	6±2	0,2	2,62±0,02
Образец 4	38±2	0,5	0,18±0,02
Образец 5	18±2	0,5	1,04±0,01
Образец 6	6±2	0,5	2,09±0,01
Образец 7	38±2	2,0	0,09±0,01
Образец 8	18±2	2,0	0,87±0,01
Образец 9	6±2	2,0	1,62±0,22
Контроль	при различных температурах исследования	0	4,6±0,1

Исходя из результатов, полученных в ходе исследования показателей массовой доли лактозы после внесения β -галактазидазы, можно составить следующие выводы: лучшие результаты гидролиза лактозы были получены у образцов № 1, № 4 и № 7, которые выдерживались при температуре $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$, эта температура наиболее благоприятно влияет на наибольшую ферментативную активность. Худшее действие фермента наблюдалось в образцах № 3, № 6 и № 9, выдержка которых осуществлялась при температуре $(6 \pm 2)^\circ\text{C}$, вследствие того, что при низких температурах скорость ферментативной реакции замедляется. Образцы № 2, № 5 и № 8, хранившиеся при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$, показали средние результаты. Также наблюдается зависимость между концентрацией добавленного фермента и количеством оставшейся лактозы во всех образцах.

Все образцы, подвергавшиеся выдержке при температуре $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$, и образец № 8, хранящийся при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$, можно отнести к низколактозным, так как массовая доля лактозы в нем не превышает 1 %.

ОБСУЖДЕНИЕ

С целью оценки достоверности, взаимосвязи, а также прогнозирования были применены математические методы анализа полученных результатов.

Изначально были определены статистические характеристики экспериментальных

данных. Для определения грубых ошибок измерений провели проверку нулевой гипотезы. Рассчитаны коэффициенты Стьюдента (t_p) и найден табличный коэффициент Стьюдента (t_r) для вероятности – 0,99 % и количеству степеней свободы равному количеству повторных опытов минус 1, $t_r = 9,92$.

Расчетный коэффициент Стьюдента найден по формуле:

$$t_{\text{расч}} = \frac{y_{\text{max}} - \bar{y}_{\text{ср}}}{\sigma}$$

В результате расчетов $t_p = 0 \dots 1$, это означает, что $t_p < t_r$ грубых ошибок в эксперименте нет.

Установим математическую и графическую зависимость содержания лактозы в коровьем молоке от количества внесения фермента β -галактазидазы при определённой температуре молока в момент действия фермента.

Графическое представление данных эксперимента на рисунке 1 показывает, что зависимость между внесением фермента при фиксировании температуры молока-сырья от 6 до 38°C и содержанием лактозы полиномиальная второй степени. Построение графика, получение уравнения регрессии и оценка точности аппроксимации выполнена в пакете EXCEL.

На рисунке 1 можно увидеть, что коэффициенты детерминации находятся в пределах $0,75 \leq R^2 \leq 0,95$, это означает, что все уравнения в целом адекватно описывают ферментативный процесс при различных температурах выдержки молока.

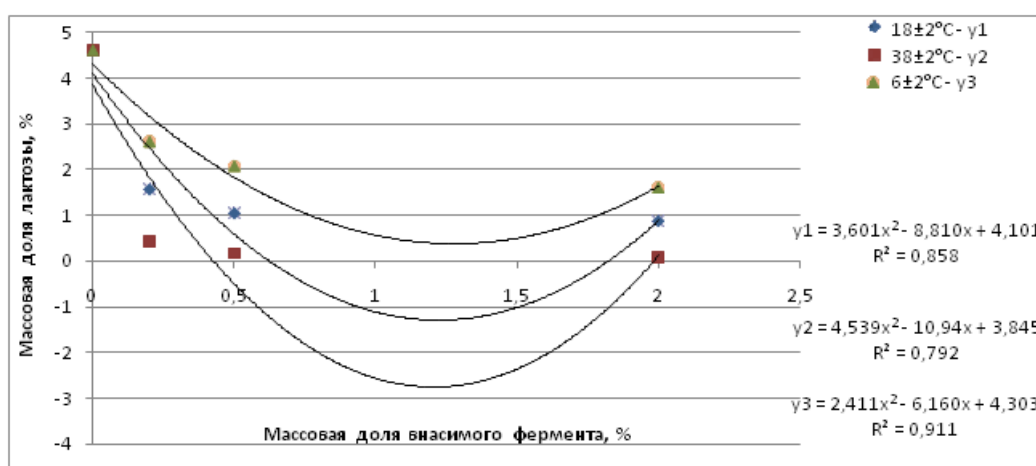


Рисунок 1 – Влияние внесения фермента β -галактазидазы на содержание лактозы при разных температурах выдержки молока

Figure 1 – The effect of the introduction of lactose on the lactose content at different temperatures of milk aging

Провели математическое описание процесса влияния фермента и температуры на

содержание лактозы методом планирования эксперимента ПФЭ 2^2 .

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ β -ГАЛАКТАЗИДАЗЫ НА ГИДРОЛИЗ ЛАКТОЗЫ В МОЛОКЕ

В эксперименте было выбрано два входных фактора: X_1 – доза внесения β -галактазидазы (0–2 %), X_2 – температура молока (6–38 °С).

Исследуемый процесс оценивали по содержанию лактозы (Y – выходной параметр).

Так как от количества внесения β -галактазидазы и температуры выдержки молока зависит концентрация лактозы, необходимо найти сочетание факторов, при котором мы получим минимальное количество лактозы в молоке. Был построен план эксперимента и сведен в таблицу 3.

По плану ПФЭ 2^2 количество коэффициентов в уравнении должно быть равно четырем, рассчитанные коэффициенты внесем в таблицу 3.

Было получено следующее уравнение:

$$y = 2,025 - 0,825 X_1 - 1,045 X_2 + 0,705 X_1 X_2.$$

Анализ уравнения позволяет сделать следующие выводы: повышение внесения β -галактазидазы и повышение температуры выдержки молока приводит к снижению лактозы в молоке, о чем свидетельствует минус перед этими коэффициентами. Наиболее существенное влияние на этот процесс оказывает температура выдержки молока, так как значение коэффициента фактора X_2 немного выше X_1 . Однако совместное влияние факторов может насторожить, так как значение это-

го коэффициента немного ниже коэффициентов факторов. Для этого необходимо проверить значимость коэффициентов через расчет коэффициента Стьюдента по формуле:

$$t_p = |b_i|/\sigma.$$

С уровнем вероятности 0,99 табличный коэффициент Стьюдента равен 3,1. Если $t_p > t_m$, то гипотеза о статистической значимости коэффициентов принимается (табл. 3). Значимые коэффициенты b_0, b_1, b_2 .

Уравнение будет иметь вид:

$$y = 2,025 - 0,825 X_1 - 1,045 X_2.$$

Если есть незначимые коэффициенты, то необходимо проверить уравнение на адекватность при помощи критерия Фишера по формуле:

$$F_p = S_a^2/S_e^2;$$

$$F_p = 2,95, F_m(0,95;1;8) = 5,32.$$

Если $F_p < F_m$, то гипотеза об адекватности математической модели принимается.

Для перехода от кодированной модели к натуральным значениям X_1 и X_2 выражают через их натуральные величины:

$$X_1 = \frac{\omega_\phi - \omega_{\phi 0}}{\Delta\omega_\phi} = \omega_\phi - 1;$$

$$X_2 = \frac{t - t_0}{\Delta t} = \frac{t - 22}{16}.$$

После преобразования получена математическая модель:

$$y = 4,3 - 0,825\omega_\phi - 0,065 t.$$

Таблица 3 – План постановки и результаты эксперимента

Table 3 – The staging plan and the results of the experiment

№ опыта	Значение факторов в натуральных величинах		Содержание лактозы, $\omega_n, \%$ (y_{cp})	Значения факторов в кодированных величинах		
	Доза лактазы, $\omega_\phi, \%$ (X_1)	Температура молока, t °С (X_2)		X_1	X_2	$X_1 X_2$
1	0	6	4,6	-1	-1	+1
2	2	6	1,54	+1	-1	-1
3	0	38	1,10	-1	+1	-1
4	2	38	0,86	+1	+1	+1
Основной уровень (X_{i0})	1	22	Коэффициенты регрессии	b_1	b_2	b_{12}
Интервал варьирования (ΔX_i)	1	16	$b_0 = 2,025$	-0,825	-1,045	0,705
Шаг движения (ΔX_i)	0,2	3,96				
Шаг движения (ΔX_i), округленный	0,2	4	Коэфф. Стьюдента t_p			
			8,559541	3,49	4,41	2,98
Результаты расчета кругого восхождения						
Опыты						
5	1,2	26	1,6			
6	1,4	30	1,2			
7	1,6	34	0,75			
8	1,8	38	0,32			
9	2	42	-0,106			

Расчет кругого восхождения для процесса получения безлактозного молока осуществлялся следующим образом:

1) Производился расчет составляющих градиента:

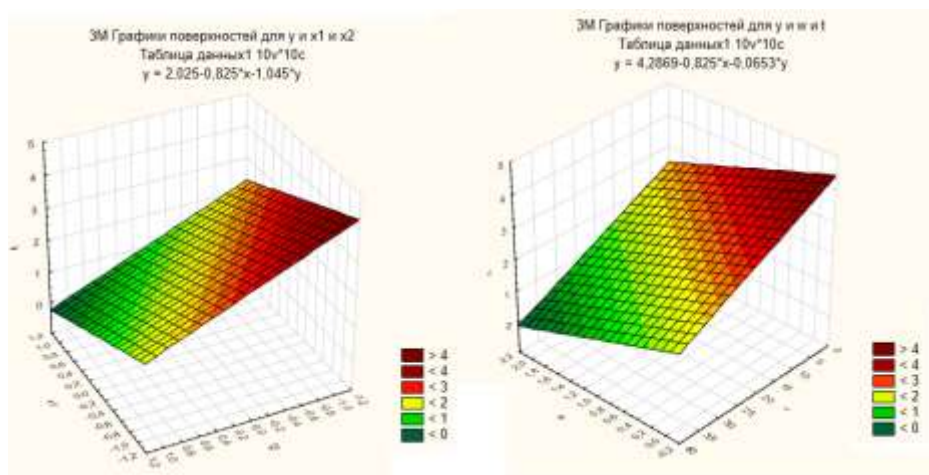
$$b_1 * \Delta X_1 = -0,825; b_2 * \Delta X_2 = -16,75.$$

Данный шаг не подходит, так как если взять условия опыта № 5: $X_1 = 0,175, X_2 = 5,28$, то уже в опыте № 6 будут нереальные значения.

2) Если умножить составляющие градиента на любое положительное число, то получим точки, лежащие на градиенте. В нашем случае удобно изменять дозу внесения фермента β -галактазидазы на 0,2, т. е. уменьшить составляющую градиента в 4,1 раза. Во столько же раз уменьшается и составляющая градиента по второму фактору (3,96) (табл. 3). Шаг по второму фактору округляется до 4.

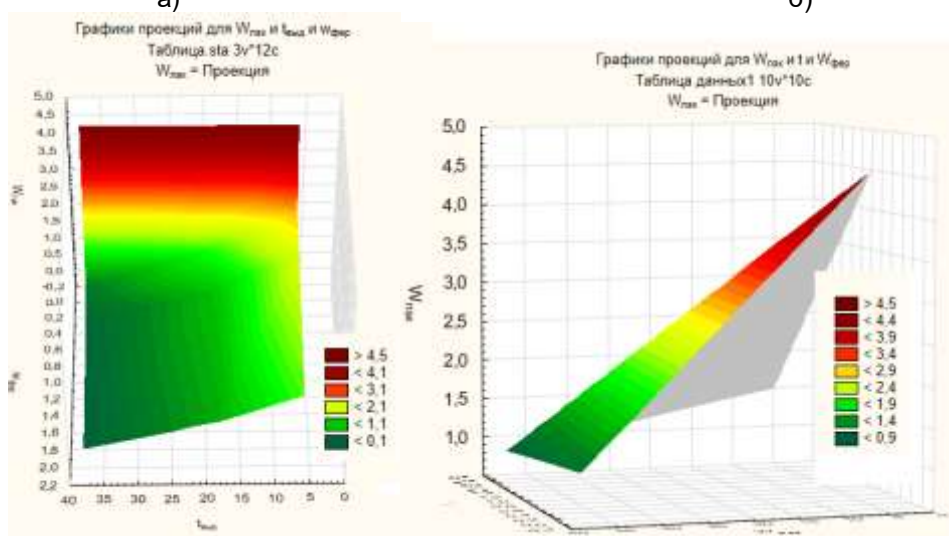
3) Последовательно прибавляем составляющие градиента к основному уровню (табл. 3, опыты 5–9).

Далее были найдены оптимальные значения факторов при $y \rightarrow \min$ (таблица 3): $\omega_{\phi} = 1,8 \%$, $t = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$; при этих значениях факторов достигается минимальное содержание лактозы $y = 0,32 \%$.



а)

б)



в)

Рисунок 2 – Графики поверхностей: а – в кодированных значениях; б) в натуральных величинах в) трехмерная проекция математической модели под разным углом рассматривания

Figure 2 – Graphs of surfaces: a) in coded values, b) in natural quantities, c) three-dimensional projection of a mathematical model

Результаты математического моделирования представлены на рисунке 2 (а, б, в). График 2, а выполнен по кодированным значениям факторов, а график 2, б – по натуральным значениям факторов, в виде линейных поверхностей. График 2, в выполнен в виде трехмерной проекции с разных углов рассматривания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования было изучено изменение массовой доли лактозы в молоке в зависимости от количества вносимого фермента и влияние различных температур на ферментативный катализ.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ β -ГАЛАКТАЗИДАЗЫ НА ГИДРОЛИЗ ЛАКТОЗЫ В МОЛОКЕ

На основании полученных данных построена математическая модель, описывающая процесс гидролиза лактозы под влиянием различных доз фермента β -галактазидаза.

Согласно анализу математической модели, были оценены оптимальные значения факторов, которые составили: 1,8 % для фермента β -галактазидаза и 38 °С для температуры молока, при этих параметрах содержание лактозы в молоке будет минимальным. Данные расчетного эксперимента коррелируют с экспериментальными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Добрян Е.И., Ильина А.М., Горлова А.И. Получение функциональных продуктов на основе ферментативного гидролиза // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 36–37. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10017.
2. Горлова А.И., Ильина А.М. Физиологическая роль лактозы нативного и гидролизованного молока : обзор // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. № 84(2). С. 57–61. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-57-61>.
3. Мескина Е.Р. Мальабсорбция и непереносимость лактозы: современная концепция, диагностика и клинический контроль // Вопросы практической педиатрии. 2019. Т. 14. № 5. С. 39–57. DOI: 10.20953/1817-7646-2019-5-39-57.
4. Анцыперова М.А., Арсеньева Т.П., Короткова А.А. Подбор препарата и условий ферментации для получения низколактозного молока // Молочная промышленность. 2018. № 8. С. 24–26. DOI: 10.31515/1019-8946-2018-8-24-26.
5. Низколактозный и безлактозный молочный продукт и способ его получения: пат. 2551230 Рос. Федерации № 2011111399/10 ; заявл. 28.09.2009 ; опубл. 20.05.2015, Бюл. № 14.
6. Способ производства низколактозного молочного напитка: пат. 2704856 Рос. Федерации № 2017126848, заявл. 18.01.2019; опубл. 31.10.2019, Бюл. № 31.
7. Тимкин В.А., Новопашин Л.А. Производство безлактозного молока многоступенчатой

диафильтрацией // Научно-технический вестник : технические системы в АПК. 2018. № 5. С. 61–66.

8. Чумакова И.В., Донская Г.А. Изменение состава и физико-химических свойств молочного сырья при производстве безлактозного молока // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 4. С. 193–197.

9. Антонова Н. Как развивается рынок безлактозного молока в России и мире / Антонова Н. // milknews : [сайт]. URL : <https://milknews.ru/longridy/bezlaktoznoye-moloko.html> (дата обращения: 06.03.2023).

Информация об авторах

А. А. Медведев – магистрант кафедры «Технология продуктов питания».

Ю. А. Пелеганчук – магистрант кафедры «Технология продуктов питания».

О. В. Кольтюгина – кандидат технических наук, заведующая кафедрой «Технология продуктов питания».

Ю. Г. Стурова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания».

Т. А. Стопорева – кандидат технических наук, начальник отдела развития публикационной деятельности.

Information about the authors

A. A. Medvedev - Master's student of the Department «Food Technology».

Yu. A. Peleganchuk - Master's student of the Department «Food Technology».

O. V. Koltyugin - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department «Food Technology».

Yu. G. Sturova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Food technology».

T. A. Stoporeva - Candidate of Technical Sciences, Head of the Publishing Development Department.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 621.7, 669.017 (075.8)

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.023



ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Александр Анатольевич Шматов ¹, Мэй Шун Чи ²

¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

^{1,2} Уханьский текстильный университет, Ухань, КНР

¹ dr.shmatov2014@yandex.ru

² 1533876320@qq.com

Аннотация. Дана сравнительная оценка работы абразивных, режущих и штамповых металлообрабатывающих инструментов и сформулированы требования к их основным эксплуатационным свойствам. Выявлены две основные причины выхода из строя металлообрабатывающих инструментов: их хрупкое и пластическое разрушение. Предложены методы повышения работоспособности инструментов: 1) способ химико-термической обработки для получения сверхтвердых карбидных покрытий; 2) способ термогидрохимической обработки для получения твердосмазочных покрытий; 3) способ объемной упрочняющей термоциклической обработки.

Ключевые слова: металлообрабатывающие инструменты, хрупкое и пластическое разрушение.

Для цитирования: Шматов А. А., Мэй Шун Чи. Эксплуатационная оценка металлообрабатывающих инструментов и требования, предъявляемые к ним // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 170–176. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.023. EDN: <https://elibrary.ru/SIWGDN>.

Original article

OPERATIONAL EVALUATION OF METALWORKING TOOLS AND REQUIREMENTS FOR THEM

Alexander A. Shmatov ¹, Mei Shunqi ²

^{1,2} Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

² Wuhan Textile University, Wuhan, China

¹ dr.shmatov2014@yandex.ru

² 1533876320@qq.com

Abstract. A comparative evaluation of the work of abrasive, cutting and stamp metalworking tools is given and requirements for their main operational properties are formulated. Two main reasons for the failure of metalworking tools have been identified: their brittle and plastic fracture. Methods for improving the performance of tools are proposed: 1) a thermo-chemical treatment method to obtain superhard carbide coatings; 2) a thermohydrochemical treatment method to obtain solid lubricating coatings, 3) a method of volumetric strengthening thermocyclic treatment.

Keywords: metalworking tools, brittle and plastic fractures.

For citation: Shmatov, A. A. & Mei, Shunqi. (2023). Operational evaluation of metalworking tools and requirements for them. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 170-176. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.023. <https://elibrary.ru/SIWGDN>.

ВВЕДЕНИЕ

По-прежнему остро стоит задача повышения работоспособности многих металлообрабатывающих инструментов, прежде всего интенсивно эксплуатируемых инструментов и предназначенных для резания труднообрабатываемых сплавов, а также для работы на станках с ЧПУ. Существует несколько причин выхода из строя стальных, твердосплавных и алмазных инструментов [1–11], от которых зависит их работоспособность. На решение этой проблемы направлены практически все известные методы упрочнения. В основном развиваются технологии получения износостойких покрытий методами PVD (физического осаждения из паровой фазы), CVD (химического осаждения из паразоной фазы) и др. с применением нетрадиционных высокоэнергетических источников и вакуумной техники, но эти методы малопродуктивны, энергоемки, дорогостоящи и не всегда учитывают конкретные условия работы инструментов [1–3]. Поэтому целью настоящей статьи явилось рассмотрение научных и технологических особенностей эксплуатации абразивных, режущих и штамповых металлообрабатывающих инструментов, выявление основных причин выхода их из строя, определение главных структурно-эксплуатационных характеристик, улучшающих работу инструментов и предложение путей повышения работоспособности инструментов с учетом их эксплуатационных условий.

НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АБРАЗИВНЫХ, РЕЖУЩИХ И ШТАМПОВЫХ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Как режущие, так и штамповые металлообрабатывающие инструменты в процессе работы испытывают несколько видов воздействий: тепловое, химическое, механическое с ударными, растягивающими, сжимающими или изгибающими нагрузками и др. Наибольшему воздействию подвергается рабочая кромка инструмента, но могут быть нагружены и остальные его части. По общей классификации контактного взаимодействия поверхностей трения штамповые и режущие

инструменты (с интенсивностью изнашивания $J_h = 10^{-5}–10^{-8}$) относятся к 6–8-му классам, что соответствует упругопластическому деформированию и микрорезанию [1].

Все инструменты при их эксплуатации находятся в сложноподвижном состоянии. На рабочей кромке инструмента чаще всего создаются высокие контактные напряжения (до 4000 МПа) и давления, необходимые для деформирования или разрушения (резания) обрабатываемого материала. При очень больших напряжениях, особенно если они сопровождаются нагревом, может наблюдаться пластическое деформирование поверхностного слоя рабочей части стального инструмента. Инструменты часто работают на изгиб и кручение; в этом случае возникают повышенные напряжения на участках, удаленных от контактирующей поверхности, в частности у основания зуба метчика, фрезы. Некоторые инструменты (протяжки, штампы для прошивки и выдавливания) испытывают растягивающие напряжения, которые при ужесточении режимов механической обработки могут быть причиной поломки инструмента или выкрашивания его рабочей кромки. Многие инструменты испытывают ударные нагрузки, создаваемые условиями обработки (фрезы или долбяки при прерывистом резании, сверла при сквозном сверлении, пуансоны при вырубке или пробивке) или вибрации, не устранимые в системе «станок – обрабатываемая деталь – инструмент». Кроме того, режущий инструмент и штампы для холодного деформирования работают при переменных нагрузках и могут выйти из строя вследствие усталостного разрушения [1–11].

При работе инструмента его рабочая кромка нагревается за счет теплоты трения в процессе резания или пластического деформирования обрабатываемого материала. С повышением скоростей резания или увеличением времени контакта штампа с деформируемым металлом, особенно при отсутствии или ограниченной подаче смазки, температура рабочей кромки может повыситься настолько, что приводит к ее деформации, потере прочности и трещинообразованию [1–7]. В таких случаях рекомендуется: 1) строго контролировать режим теплового воздействия на рабочую кромку инструмента; 2) изготавливать инструменты и покрытия из

твердых сплавов и других керамические материалы, сохраняющих твердость и прочность при высоких температурах.

Сравнительная эксплуатационная оценка, проведенная по основным видам и материалам инструментов [1–14], позволила выявить основные причины выхода их из строя и определить требуемые рабочие характеристики инструментов (рис. 1) [15]. Абразивное изнашивание чаще проявляется при работе различных металлообрабатывающих инструментов, когда их рабочая поверхность царапается более твердыми включениями обрабатываемого материала или частицами нароста. Диффузионное изнашивание характерно для высокоскоростного стального, твердосплавного и алмазного инструментов, когда до высокой температуры нагревается рабочая кромка, в результате чего происходит ее разупрочнение и диффузионное взаимодействие с обрабатываемым материалом. Адгезионному разрушению подвергаются все виды режущего и штампового инструмента за счет схватывания его контактных поверхностей с обрабатываемым материалом (стружкой, другими продуктами износа). Адгезион-

ное изнашивание часто сопровождается усталостным изнашиванием, поскольку растягивающие напряжения в режущем клине циклически изменяются при многократном повторении циклов «схватывание–разрушение», «упрочнение–разупрочнение». Окислительное изнашивание присуще стальному режущему инструменту, когда образуемые на его поверхности оксидные пленки разрушаются под действием нагрузок, и оно интенсифицируется при повышении температуры в зоне контакта выше 450 °С. Взаимодействие кислорода воздуха с внутренней структурой рабочей части инструмента также приводит к коррозионно-механическому изнашиванию, когда облегчается вырыв карбидных зерен и образование микротрещин, а также создается межзеренное и межфазное охрупчивание. Пластическое разрушение рабочей кромки имеет место для инструментов из твердых сплавов, быстрорежущих и других инструментальных сталей и происходит в результате пластического течения контактных слоев с последующим их срезом из-за процессов рекристаллизации и микроползучести по границам зерен.



Рисунок 1 – Эксплуатационные требования и причины выхода из строя металлообрабатывающих инструментов [15]

Figure 1 – Operational requirements and reasons for failure of metalworking tools [15]

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Согласно анализу [5], существуют две основные причины выхода из строя режущего инструмента: хрупкое разрушение в виде выкрашивания и скалывания режущей части и пластическое разрушение в виде потери формоустойчивости, истирания и затупления режущей кромки. Для большинства режущих инструментов имеет место истирание и выкрашивание рабочей кромки, а поломка и скалывание – явление более редкое, свойственное тонкому и интенсивно работающему инструменту. Выкрашивание, причинами которого являются неоднородность структуры, поверхностные дефекты и остаточные напряжения вследствие термообработки, шлифования, прерывистого резания и других причин, характерно для хрупких инструментальных материалов (твердого сплава, керамики). Отмечено также, что инструменты при небольших скоростях резания и степенях деформации преимущественно испытывают абразивный и адгезионно-усталостный виды изнашивания, а при больших скоростях резания и высоком нагреве – диффузионный и окислительный виды изнашивания.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Уровень развития современной техники характеризуется высокой интенсивностью эксплуатации металлообрабатывающих инструментов с широким применением сложнолегированных и труднообрабатываемых сталей и сплавов. Поэтому многие инструменты имеют малый срок службы. В производстве также остро стоит проблема поломки и выкрашивания тонких, длинномерных, мелко-размерных и ударных режущих и штамповых инструментов по причине их невысокой конструкционной прочности, поскольку любое повышение твердости снижает пластичность, делая инструменты более хрупкими. Все это требует разработки: во-первых, инструментов на основе новых материалов с повышенными эксплуатационными свойствами; во-вторых, новых высокотехнологичных процессов поверхностной и объемной обработки, позволяющих увеличить износостойкие, прочностные и пластические свойства для наилучшего повышения работоспособности металлообрабатывающих инструментов; этот путь развития более предпочтительный.

Проведенный тематический обзор [1–3, 16–26] позволил установить множество технологий поверхностной и объемной упрочняющей обработки, при произвольном или комбинированном использовании которых прак-

тически невозможно решить важную научно-техническую проблему повышения работоспособности металлообрабатывающих инструментов. Большинство современных технологий поверхностной и объемной упрочняющей обработки имеют ряд недостатков: невысокую эффективность и малую производительность, большую энергоемкость и необходимость применения дорогостоящего вакуумного или другого специального оборудования, а также значительные затраты на внедрение процессов. Сравнительный анализ [15] показал, что наиболее технологичными, эффективными и быстро внедряемыми в производство являются термохимические способы поверхностной обработки и термоциклические способы объемной обработки металлообрабатывающих инструментов.

В настоящей работе [15] предложены (рис. 2) два метода поверхностной обработки для повышения работоспособности металлообрабатывающих инструментов: 1-й – это способ химико-термической обработки (ХТО) для получения сверхтвердых поликарбидных покрытий, чтобы повысить сопротивление абразивному, диффузионному и окислительному изнашиванию инструментов; и 2-й – это способ термогидрохимической обработки (ТГХО) для получения твердосмазочных покрытий, чтобы повысить сопротивление адгезионному и адгезионно-усталостному изнашиванию инструментов. Тогда 1-й способ поверхностной обработки можно применить для штампов из сталей и твердых сплавов, а также для режущих твердосплавных инструментов; 2-й способ поверхностной обработки – для штампов холодного деформирования и режущих инструментов из сталей и твердых сплавов, а также для алмазно-абразивных инструментов. Для объемной обработки металлообрабатывающих инструментов еще предложен (рис. 2) метод упрочняющей термоциклической обработки (УТЦО), который предназначен устранить выкрашивание (или смятие) рабочей кромки и поломку тонких, длинномерных и ударных стальных инструментов за счет значительного одновременного улучшения износостойких, прочностных и пластических свойств. Этот способ объемной обработки можно применить для ударных штампов и режущих инструментов из углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей. Чтобы достичь наибольшего эффекта в деле повышения работоспособности стальных металлообрабатывающих инструментов, рекомендуется комбинировать метод объемной обработки УТЦО с разными видами термохимических методов поверхностной обработки: ТГХО или ХТО.

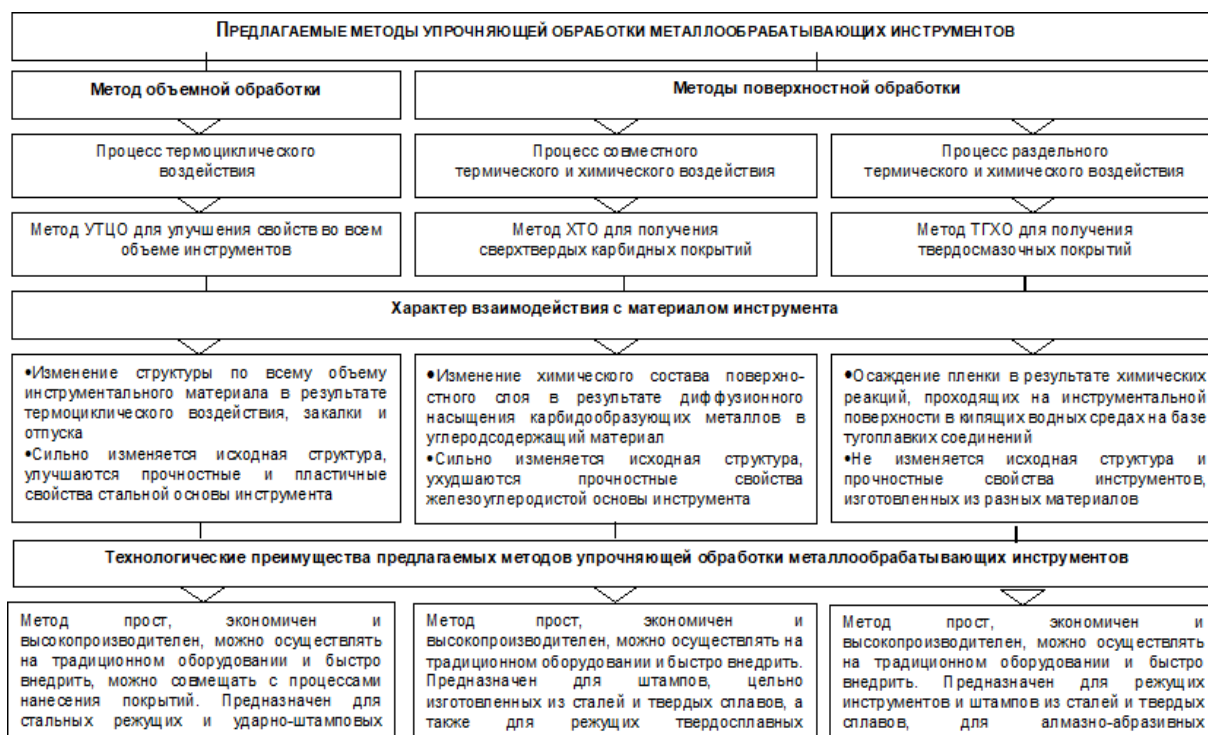


Рисунок 2 – Предлагаемые методы упрочняющей обработки металлообрабатывающих инструментов

Figure 2 – Proposed methods of hardening treatment of metalworking tools

Инструменты, упрочненные предложенными методами, прошли производственные испытания на 44 предприятиях Беларуси, России, США, Германии, Польши, Словакии, Чехии, Китая. Показано (табл. 1), что упроч-

нение методами ХТО, ТГХО и УТЦО является наиболее перспективным направлением повышения эксплуатационных свойств различных инструментов.

Таблица 1 – Результаты испытаний упрочненных инструментов

Table 1 – Test results of hardened tools

Вид инструмента	Инструментальный материал	Метод упрочнения	Стойкость, K_w	Место испытаний
1	2	3	4	5
Фрезы концевые	стали 19824, P6M5, P18	УТЦО, УТЦО+ТГХО	1,4–12	SVST(Sk), БелАЗ, Легмаш, АГУ, ВТЗ, Экран, Атлант
Фрезы дисковые	сталь P6M5	УТЦО, ТГХО	2–8	Мотовело, АГУ, БЗСП, БелАЗ
Резцы	сталь P6M5	УТЦО	1,6–4,5	АГУ, Экран, БАТЭ
Плашки	стали P6M5, 9XC	ТГХО	2–4	Экран
Метчики	стали P9M4K8МП P6M5, 9XC	УТЦО+ТГХО, ТГХО, УТЦО	1,5–20	Daewoo (Kr), МТЗ, БелАЗ, Салют, ПМЗ, УМПО, БелТИЗ, ВТЗ, Экран
Долбяки	сталь P6M5	ТГХО	1,6–4,5	БААЗ, Мотовело, ММЗ
Ленточные пилы	сталь S6-5-2	ТГХО	2,5–3	VUHZ (Ch)
Сверла	стали S6-5-2, 19824, P6M5	ТГХО, УТЦО	1,8–4,2	Stock (De), PS (Sk), VUHZ(Ch), Дормаш, АГУ, ВТЗ, Мотовело
Развертки	сталь P6M5	ТГХО, УТЦО	2–4	Мотовело, БАТЭ, ВТЗ, АГУ
Зенкера	стали P6M5, P6M5K5	УТЦО, ТГХО	1,8–4	ВТЗ, Салют, Энергомаш
Ножи	стали 19824, У10	ТГХО, ХТО	1,9–3	Skloplast Trnava (Sk), Хумпласт

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5
Пресс-формы	стали У8, ХВГ	ХТО	2–6	<i>МЗШ, ПМ, Химпласт</i>
Штампы вырубные и пробивные	стали 19732, ДИ-23, Х12, У8, У10	УТЦО, ТГХО ХТО	1,8– 4,5	<i>ZVL(Sk), УМПО, БелАЗ, КЗТШ Гомсельмаш, Экран, Горизонт</i>
Направляющие	сталь У8	ХТО	>10	<i>Гомсельмаш</i>
Форсунки	стали У8, 18ХГТ	ХТО	2–6	<i>ВНИИСМИ</i>
Пластины для точения	тв. сплавы Т15К6, МР4, РТ40	ХТО, ТГХО	1,3 – 4	<i>БелАЗ, АГУ, БМЗ, КЗТШ</i>
Пластины для фрезерования	тв. сплавы МК8, Т15К6, ВК8	ТГХО	1,5–4	<i>БМЗ, МПЗ, Мотовело, Экран</i>
Фрезы цельные	тв. сплав ВК6М	ХТО	4–20	<i>Атлант, Экран</i>
Волоки	тв. сплавы	ТГХО	1,4– 1,8	<i>БМЗ</i>
Сверла по стеклу	алмаз. материал	ТГХО	2,5– 3,3	<i>Индмаш</i>
Абразивные круги	алмаз. материал	ТГХО	1,6– 2,7	<i>БелАЗ, МПЗ, Калибр</i>

Отмечено, что нанесение поликарбидных покрытий методом ХТО особо эффективно для стальных и твердосплавных инструментов, работающих в условиях коррозионно-абразивного изнашивания; причем чем выше твердость обрабатываемых изделий, тем выше показатели стойкости упрочненных инструментов. После ХТО стойкость стальных штампов и техоснастки увеличилась в 2–6 раз, а твердосплавных режущих и штамповых инструментов – в 2–20 раз по сравнению с традиционными. Другая технология ТГХО более универсальна, т.к. позволяет упрочнять любые металлообрабатывающие инструменты, изготовленные из разных материалов. Испытания показали, что стойкость таких инструментов при черновой обработке выше, чем при чистой. В результате ТГХО период стойкости стальных инструментов увеличился в 1,5–8 раз, твердосплавных – в 1,3–3,3 раза, а алмазных инструментов – в 1,6–3,3 раза по сравнению со стандартными. Третий метод УТЦО применим к быстрорежущим и штамповым сталям и наиболее эффективен для тонких, длинномерных и ударных инструментов, испытывающих большие статические и динамические нагрузки, особенно при прерывистом и черновом резании труднообрабатываемых сплавов и с твердостью до HRC 45–48. Показатели стойкости ТЦ инструментов повышаются с увеличением твердости обрабатываемых сплавов. Испытания показали, что после УТЦО стойкость пуансонов, матриц повышается в 1,9–4,5 раз, а режущих инструментов – в 1,6–12 раз в сравнении с серийными. Отмечено, что эффект упрочнения усиливается при комбинировании технологий УТЦО+ТГХО, и тогда стойкость метчиков возрастает в 2,5–6,3 раза по сравнению со стандартными.

ВЫВОДЫ

1. На основании эксплуатационной оценки металлообрабатывающих инструментов установлены две основные причины выхода их из строя: 1-я – пластическое разрушение в виде потери формоустойчивости, истирания и затупления режущей кромки; 2-я – хрупкое разрушение в виде выкрашивания и скалывания режущей части, а также поломки тонких и ударных инструментов. С другой стороны, инструменты при небольших скоростях резания и степенях деформации преимущественно испытывают абразивный и адгезионно-усталостный виды изнашивания, а при больших скоростях резания и высоком нагреве – диффузионный и окислительный виды изнашивания.

2. В результате обобщенного анализа установлено, что большие перспективы для развития в области упрочнения металлообрабатывающих инструментов имеют два метода поверхностной обработки: 1-й – это способ химико-термической обработки для получения сверхтвердых карбидных покрытий, чтобы повысить сопротивление абразивному, диффузионному и окислительному изнашиванию инструментов; и 2-й – способ термогидрохимической обработки для получения твердосмазочных покрытий, чтобы повысить сопротивление адгезионному и адгезионно-усталостному изнашиванию инструментов, а также метод объемной термоциклической обработки, чтобы увеличить износостойкость, уменьшить выкрашивание (или смятие) рабочей кромки и поломку тонких, длинномерных и ударных стальных инструментов. Применение этих методов в машиностроительном производстве позволило увеличить стойкость различных металлообрабатывающих инструментов в 1,3–20 раз по сравнению с серийными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1990. 528 с.
2. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М. : Металлургия, 1983. 527 с.
3. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М. : Машиностроение, 1986. 192 с.
4. Формообразующие инструменты в машиностроении : учеб. пособие / А.Г. Схиртладзе [и др.]. М. : Новое знание, 2006. 557 с.
5. Бельский С.Е., Тофпенец Р.Л. Структурные факторы эксплуатационной стойкости режущего инструмента. Минск : Наука и техника, 1984. 128 с.
6. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М. : Машиностроение, 1982. 320 с.
7. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 448 с.
8. Иткин А.Л. Изготовление и эксплуатация твердосплавного режущего инструмента. М. : Машгиз, 1962. 192 с.
9. Хаустова О.Ю. Повышение работоспособности твердосплавного инструмента и качества обработанных поверхностей при сухом резании различных конструкционных материалов : дисс. ... канд. техн. наук : 05.03.01. М., 2004. 180 л.
10. Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки. Киев : Техника, 1980. 131 с.
11. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. М.–Л. : Машиностроение, 1965. 437 с.
12. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368 с.
13. Польцер Г., Майсснер Ф. Основы трения и изнашивания. Пер. с англ. М. : Машиностроение, 1984. 264 с.
14. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) : учебник. М. : Изд-во МСХА, 2001. 616 с.
15. Шматов А.А. Научные и технологические основы термохимических и термоциклических методов упрочняющей обработки металлообрабатывающих инструментов: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.16.01, 05.02.07. Минск, 2020. 344 л.
16. Материаловедение : учебник для вузов / под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 648 с.
17. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов. М. : Машиностроение, 1986. 320 с.
18. Витязь П.А. Твердосмазочные покрытия в машиностроении. Минск : Бел. наука, 2007. 170 с.
19. Чудина О.В. Комбинированные методы поверхностного упрочнения сталей с применением

лазерного нагрева. Теория и технология. М. : МАДИ, 2003. 248 с.

20. Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия. Пер. с англ. М. : Мир, 2000. 518 с.

21. Наноструктурные покрытия. Пер. с англ. / Под ред. А. Кавалейро, Д. де Хоссона. М. : Техносфера, 2011. 752 с.

22. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Под ред. Л.С. Ляховича. М. : Металлургия, 1981. 424 с.

23. Вассерман И.М. Химическое осаждение из растворов. Л. : Химия, 1980. 208 с.

24. Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками / П.А. Витязь [и др.]. Минск : Беларус. навука, 2011. 527 с.

25. Маскаева Л.Н. Гидрохимический синтез, структура и свойства пленок пересыщенных твердых растворов замещения $Me_xPb_{1-x}S$ ($Me - Zn, Cd, Cu, Ag$) : дисс. ... д-ра хим. наук : 02.00.04. Екатеринбург, 2004. 383 л.

26. Лыгденов Б.Д. Фазовые превращения в сталях с градиентными структурами, полученными химико-термической и химико-термоциклической обработкой : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 01.04.07. Новокузнецк, 2004. 21 с.

Информация об авторах

А. А. Шматов – д.т.н., профессор и академик РАЕ, главный научный сотрудник Научно-исследовательского политехнического института – филиала Белорусского национального технического университета; профессор Уханьского текстильного университета.

Мэй Шун Чи – Ph.D, профессор и декан Уханьского текстильного университета, академик РАЕ.

Information about the authors

A.A. Shmatov - Doctor of Technical Sciences, Professor and Academician of the RAE, Chief Researcher of the Research Polytechnic Institute - branch of the Belarusian National Technical University; Professor of the Wuhan Textile University.

Mei Shun Chi - Ph.D., Professor and Dean of Wuhan Textile University, Academician of the RAE.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

УДК677.4:677.5:677.04

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.024

 EDN: UMRQWT

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ОРГАНОСИЛАНОВЫМИ АППРЕТАМИ

Наталья Геннадьевна Зубова

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Балаково, Россия

zubova_aptech@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2678-2568>

Аннотация. Модификация волокнистых наполнителей органосилановыми аппретами является эффективным способом направленного регулирования адгезионного взаимодействия между компонентами композиционных материалов. В работе исследованы химический состав и характер поверхности, механические свойства и смачивание модифицированных армирующих систем – полиакрилонитрильного технического жгутика, гидратцеллюлозной технической нити и базальтовых нитей, растворами органосилановых аппретов: АГМ-9, А-187 и А-174. Исследования образцов модифицированных волокнистых материалов проводились с использованием методов инфракрасной спектроскопии, сканирующей электронной и оптической микроскопии, механических испытаний и оценки их смачиваемости. На спектрах модифицированных нитей идентифицируются пики, характерные для групп, входящих в состав модификаторов, что позволяет предположить физико-химическое взаимодействие между функциональными группами органосиланов и гидроксильными группами волокнистых материалов, дополнительным подтверждением которого являются результаты термо-влажностной обработки. Установлено, что на поверхности модифицированных элементарных нитей образуется равномерное плёночное покрытие. Результаты механических испытаний модифицированных волокнистых материалов свидетельствуют о значительном улучшении прочности по сравнению с немодифицированными волокнистыми материалами: относительная разрывная нагрузка ПАН-ТЖ увеличивается в среднем на 44 %, ГЦТН – на 52 %, БН – на 42 %. Проведен сравнительный анализ смачивания модифицированных армирующих систем эпоксидным олигомером, свидетельствующий об эффективном влиянии органосилановых аппретов на увеличение максимальной высоты капиллярного поднятия границы раствора эпоксидного олигомера и средней скорости смачивания нитей. Оценка кинетических данных смачивания модифицированных армирующих систем показала, что наиболее эффективным органосиланом, улучшающим адгезионную совместимость в системе матрица/наполнитель является А-174. Сформулированы физико-химические особенности модификации волокнистых материалов органосилановыми аппретами.

Ключевые слова: полиакрилонитрильный технический жгут, гидратцеллюлозная техническая нить, базальтовые нити, органосилановые аппреты, модификация, химический состав, прочность, смачиваемость.

Для цитирования: Зубова Н. Г. Физико-химические особенности модификации волокнистых материалов органосилановыми аппретами // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 177–184. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.024. EDN: <https://elibrary.ru/UMRQWT>.

Original article

PHYSICO-CHEMICAL FEATURES OF MODIFICATION OF FIBROUS MATERIALS BY ORGANOSILANE FINISHES

Natalya G. Zubova

Balakovo Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University «MEPhI», Balakovo, Russia

zubova_aptch@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2678-2568>

Abstract. *Modification of fibrous fillers with organosilane finishes is an effective way of directional regulation of adhesive interaction between components of composite materials. The chemical composition and character of the surface, mechanical properties and wetting of modified reinforcing systems - polyacrylonitrile technical flagellum, hydrate cellulose technical thread and basalt threads, solutions of organosilane finishes are investigated in this work: AGM-9, A-187 and A-174. Studies of samples of modified fibrous materials were carried out using methods of infrared spectroscopy, scanning electron and optical microscopy, mechanical tests and evaluation of their wettability. On the spectra of modified filaments, peaks characteristic of the groups included in the modifiers are identified, which suggests a physicochemical interaction between the functional groups of organosilanes and hydroxyl groups of fibrous materials, an additional confirmation of which is the results of thermal moisture treatment. It is established that a uniform film coating is formed on the surface of the modified elementary filaments. The results of mechanical tests of modified fibrous materials indicate a significant improvement in strength compared to unmodified fibrous materials: the relative breaking load of the PAN-TF increases by an average of 44 %, HCTT - by 52 %, BT – by 42 %. A comparative analysis of the wetting of modified reinforcing systems with an epoxy oligomer was carried out, indicating the effective effect of organosilane finishes on increasing the maximum height of the capillary rise of the boundary of the epoxy oligomer solution and the average wetting rate of the threads. Evaluation of kinetic wetting data of modified reinforcing systems has shown that A-174 is the most effective organosilane that improves adhesion compatibility in the matrix/filler system. The physico-chemical features of the modification of fibrous materials by organosilane finishes are formulated.*

Keywords: *polyacrylonitrile technical flagellum, hydrate cellulose technical thread, basalt threads, organosilane finishes, modification, chemical composition, strength, wettability.*

For citation: Zubova, N.G. (2023). Physico-chemical features of modification of fibrous materials by organosilane finishes. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 177-184. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.024. <https://elibrary.ru/UMRQWT>.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективным способом направленного регулирования адгезионного взаимодействия между компонентами армированных пластиков, обеспечивающего монолитность и прочность готовых изделий, является модификация волокнистых систем органосилановыми аппретатами, образующими стабильные и прочные связи между наполнителем и полимерным связующим [1–5].

Среди широкого ассортимента промышленно выпускаемых крупнотоннажных волокнистых наполнителей можно выделить армирующие системы, обладающие поверхностной активностью и способностью при модификации к повышению межфазной адгезии и устойчивости к разрывным нагрузкам, к которым относятся полиакрилонитрильный технический жгут (ПАН-ТЖ), гидратцеллюлозная техническая нить (ГЦТН) и базальтовые нити (БН) [6–10].

178

В предыдущих работах [11–13] проведен выбор режимов обработки указанных армирующих систем органосилановыми аппретатами: 3-аминопропилтриэтоксисиланом (АГМ-9), 3-глицидоксипропилтриметоксисиланом (А-187), 3-метакрилоксипропилтриметоксисиланом (А-174), показано увеличение прочности и адгезионной совместимости волокнистых наполнителей с эпоксидной смолой ЭД-20. На основании проведенных исследований определена оптимальная концентрация водных растворов органосиланов АГМ-9, А-187 и А-174 при обработке исследуемых волокнистых наполнителей – 5 % (оптимальная концентрация водного раствора АГМ-9 при обработке БН – 2 %) и оптимальное время модификации – 60 с.

Целью настоящей работы являлось установление физико-химических особенностей процесса аппретирования технических нитей в зависимости от природы используемого мо-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2023

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ОРГАНОСИЛАНОВЫМИ АППРЕТАМИ

дификатора. Для достижения поставленной цели определены задачи исследования: оценка химического состава, характера поверхности и механических свойств модифицированных волокнистых материалов, изучение кинетики их смачивания эпоксидным олигомером.

МЕТОДЫ

Анализ химического элементного состава модифицированных волокнистых материалов проводили на автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе MIRA 2 LMU, оснащенной системой микроанализа Aztec Live Advanced Ultim Max 40 [14], спектральный анализ модифицированных волокнистых материалов – на Фурье-спектрофотометре инфракрасном IRTracer-100 (рабочий диапазон длин волн 4000–400 см⁻¹) [15].

Термовлажностную обработку модифицированных волокнистых материалов осуществляли путем их многократной промывки в дистиллированной воде при температуре 45±5 °С. Однократную промывку нитей проводили в течение 5 мин.

Оптические исследования поверхности элементарных нитей проводили на микроскопе МИКРОМЕД Р-1 [16].

Результаты механических испытаний исследуемых армирующих систем были получены на разрывной машине ФМ 27 (скорость нагружения образцов элементарных волокон при растяжении – 25±2,5 мм/мин) [17].

Кинетические данные смачиваемости образцов исследуемых волокон при измерении высоты капиллярного поднятия 50 % раствора эпоксидного олигомера в ацетоне получены на катетометре КМ-8 (температура проведения эксперимента 23±2 °С) [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с поставленными задачами исследования проведен энергодисперсионный анализ химического элементного состава ПАН-ТЖ и ГЦТН, результаты которого позволили установить, что в составе модифицированных волокнистых материалов появляются кремниевые группы (таблица 1).

Таблица 1 – Данные энергодисперсионного анализа волокнистых материалов

Table 1 – Data of energy dispersion analysis of fibrous materials

Наименования волокнистого материала	Концентрация, вес %						
	[C]	[N]	[O]	[Na]	[S]	[Zn]	[Si]
ПАН-ТЖ	67,37	25,21	6,50	0,92	–	–	–
ПАН-ТЖ+А-187	68,37	24,36	6,82	0,05	–	–	0,40
ПАН-ТЖ+А-174	68,40	24,41	6,79	0,04	–	–	0,36
ГЦТН	59,07	–	38,56	0,75	1,24	0,38	–
ГЦТН +А-187	60,03	–	38,92	0,14	0,49	0,03	0,39
ГЦТН +А-174	60,01	–	38,89	0,15	0,54	0,04	0,37

Подтверждением изменения химического состава армирующих систем являются результаты ИК-спектроскопии (рис. 1, а–в), свидетельствующие, что на спектрах модифицированных волокнистых материалов (кривые 2–4) в областях 2400–2360 см⁻¹ идентифицируются пики, соответствующие валентными колебаниями ОН-групп, входящих в состав поверхностных анионов [O₃Si-OH]³⁻ [19], в областях 1053 и 880 см⁻¹ появляются пики, характерные для валентных колебаний связи SiO [20].

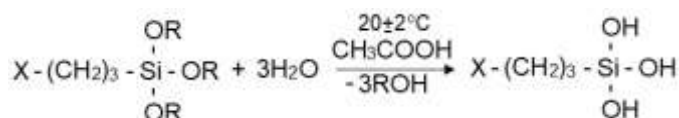
Дополнительным подтверждением физико-химического взаимодействия между органосилановыми аппретам и исследуемыми волокнистыми материалами является незна-

чительное изменение массы модифицированных ПАН-ТЖ (0,3–0,8 %), ГЦТН (0,5–2,9 %) и БН (0,5–1,3 %) после их многократной термовлажностной обработки (рис. 2, а–в).

Представленные результаты свидетельствуют о фиксации аппретов на волокне.

Данные энергодисперсионного анализа, ИК-спектроскопии и результаты термовлажностной обработки модифицированных технических нитей (ТН) позволяют предположить физико-химическое взаимодействие между функциональными группами органосилановых аппретов и гидроксильными группами волокнистых материалов по реакциям [21, 1, 3]:

I стадия – образование силанолов:



где X – органofункциональная группа силанов (аминовая, эпоксидная, метакриловая); R – ал-

коксигруппа (метоксильная или этоксильная);

II стадия – взаимодействие силинолов с гидроксильными группами ТН:

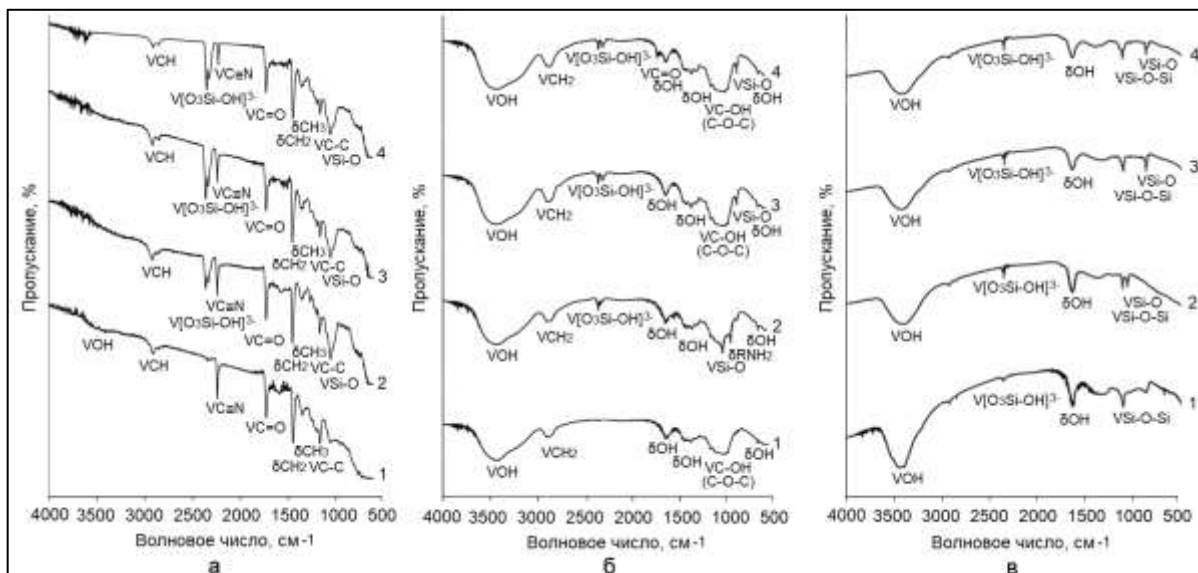
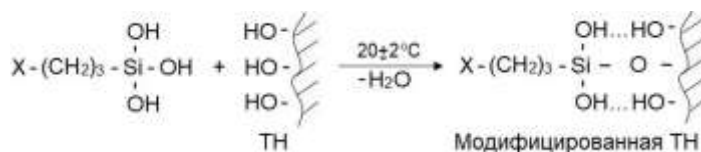


Рисунок 1 – ИК-спектры волокнистых материалов (а – ПАН-ТЖ; б – ГЦТН; в – БН):
 1 – немодифицированный волокнистый материал; 2 – волокнистый материал+АГМ-9;
 3 – волокнистый материал+А-187; 4 – волокнистый материал+А-174

Figure 1 – IR spectra of fibrous materials (a – PAN-TF; b – HCTT; c – BT): 1 - unmodified fibrous material;
 2 - fibrous material+AGM-9; 3 - fibrous material+A-187; 4 - fibrous material+A-174

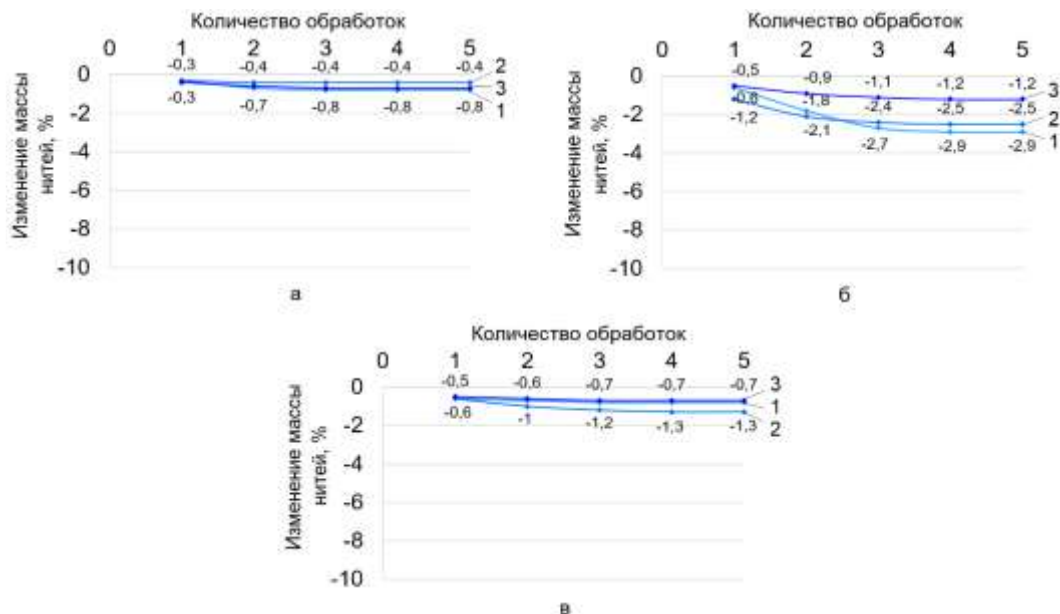


Рисунок 2 – Изменение массы модифицированных волокнистых материалов после термовлажностной обработки (а – ПАН-ТЖ; б – ГЦТН; в – БН): 1 – немодифицированный волокнистый материал;
 2 – волокнистый материал+АГМ-9; 3 – волокнистый материал+А-187; 4 – волокнистый материал+А-174

Figure 2 - Change in the mass of modified fibrous materials after thermal moisture treatment
 (a – PAN-TF; b – HCTT; c – BT): 1 - unmodified fibrous material; 2 - fibrous material+AGM-9;
 3 - fibrous material+A-187; 4 - fibrous material+A-174

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ОРГАНОСИЛАНОВЫМИ АППРЕТАМИ

При модификации волокнистых материалов всеми исследуемыми аппретирующими составами наблюдается значительное повышение относительной разрывной нагрузки

ки: при обработке ПАН-ТЖ прочность возрастает в среднем на 44 %, при обработке ГЦТН – на 52 %, при обработке БН – на 42 % (рис. 3).

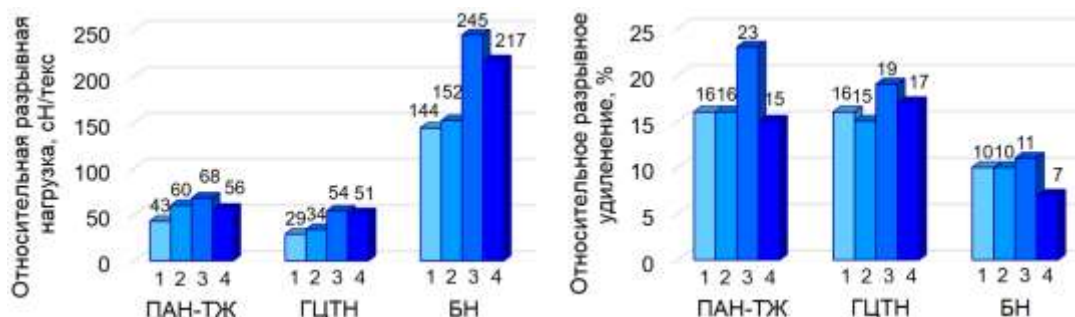


Рисунок 3 – Результаты механических испытаний ПАН-ТЖ, ГЦТН и БН:

- 1 – немодифицированный волокнистый материал; 2 – волокнистый материал+АГМ-9;
3 – волокнистый материал+А-187; 4 – волокнистый материал+А-174

Figure 3 – Results of mechanical tests of PAN-TF, HCTT and BT: 1 - unmodified fibrous material; 2 - fibrous material +AGM-9; 3 - fibrous material+A-187; 4 - fibrous material+A-174

По степени влияния органосиланов на изменение относительной разрывной нагрузки волокнистых материалов исследуемые аппретуры располагаются в следующем порядке:

- при модификации ПАН-ТЖ: А-187 (прочность улучшается на 58 %) > АГМ-9 (прочность улучшается на 40 %) > А-174 (прочность улучшается на 30 %);

- при модификации ГЦТН: А-187 (прочность улучшается на 86 %) > А-174 (прочность улучшается на 76 %) > АГМ-9 (прочность улучшается на 17 %);

- при модификации БН: А-187 (прочность улучшается на 70 %) > А-174 (прочность улучшается на 51 %) > АГМ-9 (прочность улучшается на 6 %).

Полученные данные свидетельствуют о большей эффективности А-187, обусловленной, очевидно, высокой реакционной способ-

ностью силана, сопровождаемой не только гидролизом алкоксигрупп, но и раскрытием эпоксидного кольца органofункциональной группы [1]. Кроме того, активность органосиланов возрастает при взаимодействии с волокнистыми материалами, содержащими поверхностные гидроксильные группы, что подтверждает высокую эффективность А-187 при модификации гидратцеллюлозных и базальтовых нитей.

Увеличению устойчивости ТН к разрывным нагрузкам способствует образование на поверхности модифицированных элементарных нитей равномерного плёночного покрытия, способствующего снижению их дефектности, о чём свидетельствуют результаты оптических исследований волокнистых материалов (на примере гидратцеллюлозных нитей) (рис. 4, а–д).

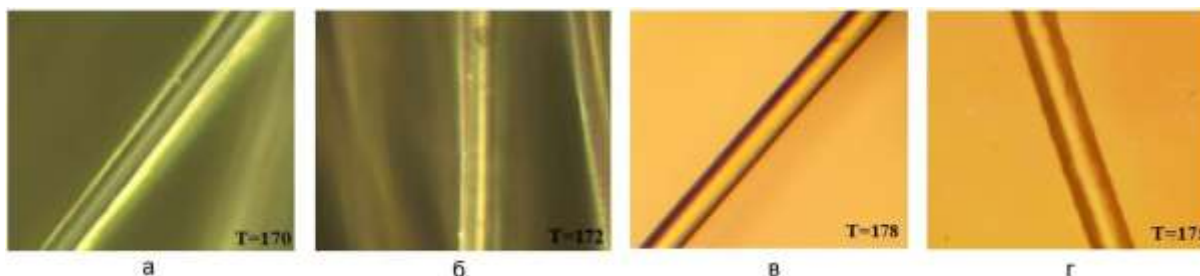


Рисунок 4 – Микрофотографии образцов элементарных ГЦТН (n=800):

- а – немодифицированный волокнистый материал; б – волокнистый материал+АГМ-9;
в – волокнистый материал+А-187; г – волокнистый материал+А-174

Figure 4 – Micrographs of samples of elementary HCTT (n=800): a - unmodified fibrous material; b - fibrous material +AGM-9; c - fibrous material+A-187; d - fibrous material+A-174

Учитывая, что модифицированные нити, отличающиеся повышенной прочностью, целесообразно использовать в качестве армирующих систем при получении полимерных композитов, изучена их способность к смачиванию олигомерными связующими.

Для оценки адгезионной совместимости модифицированных ПАН-ТЖ, ГЦТН и БН проведен анализ кинетических кривых и параметров процесса смачивания волокнистых материалов раствором эпоксидного олигомера (рис. 5, а–в), который показал, что аппретирование силаном А-174 (кривая 4) исследуемых нитей в большей степени улучшает смачивающую способность армирующих систем: максимальная высота капиллярного поднятия жидкости ПАН-ТЖ, ГЦТН и БН повышается на 22, 90 и 50 % соответственно, средняя скорость смачивания – на 50, 43 и

73 % соответственно. Обработка гидратцеллюлозных и базальтовых нитей аппретом А-187 (кривая 3) также положительно влияет на смачиваемость нитей эпоксидным олигомером: максимальная высота капиллярного поднятия границы жидкости повышается на 41 и 23 % соответственно, средняя скорость смачивания – на 23 и 46 % соответственно.

Известно, что наиболее прочное адгезионное взаимодействие компонентов происходит между полярными армирующими волокнами и терморезактивной матрицей [6]. Исследуемые в настоящей работе органосиланы обладают способностью повышать полярность обрабатываемых поверхностей [2], что, вероятно, и является причиной увеличения адгезионной совместимости модифицированных ПАН-ТЖ, ГЦТН и БН с раствором эпоксидного олигомера.

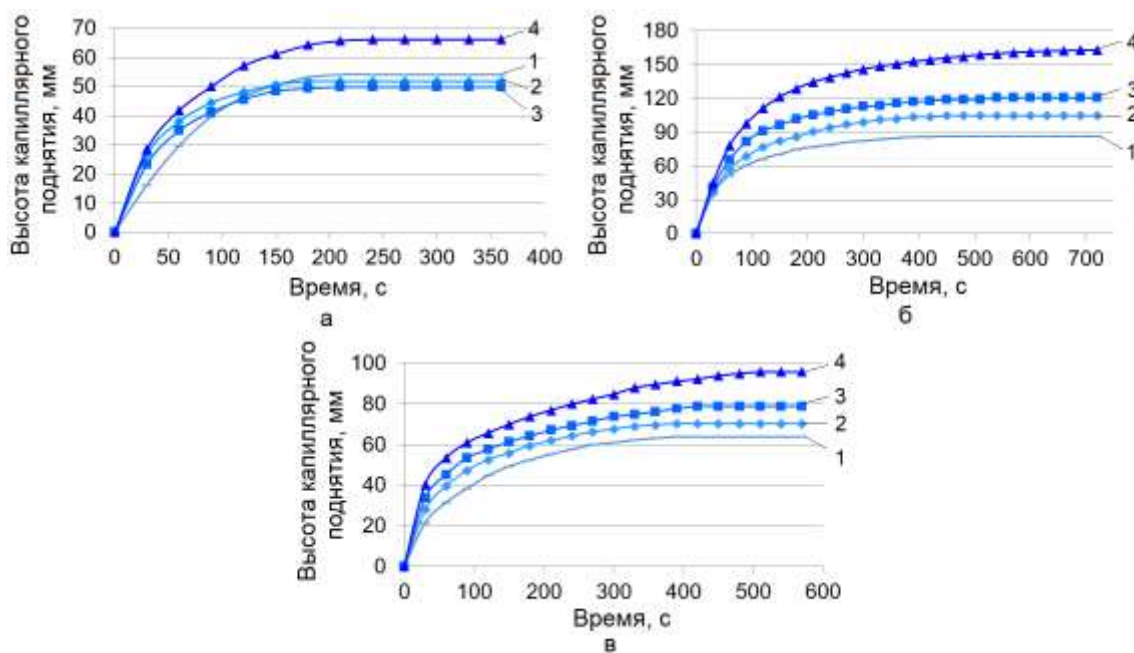


Рисунок 5 – Кинетические кривые смачивания модифицированных волокнистых материалов (а – ПАН-ТЖ; б – ГЦТН; в – БН) раствором эпоксидного олигомера: 1 – немодифицированный волокнистый материал; 2 – волокнистый материал+АГМ-9; 3 – волокнистый материал+А-187; 4 – волокнистый материал+А-174

Figure 5 – Kinetic curves of wetting of modified fibrous materials (a - PAN-TF; b - HCTT; c - BT) with an epoxy oligomer solution: 1 - unmodified fibrous material; 2 - fibrous material+AGM-9; 3 - fibrous material+A-187; 4 - fibrous material+A-174

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных экспериментов и полученных данных сформулированы следующие физико-химические особенности аппретирования волокнистых материалов органосилановыми модификаторами:

- физико-химическое взаимодействие

между органосилановыми аппретами и волокнистыми материалами, обеспечивающее фиксацию модификаторов;

- улучшение прочности аппретированных волокнистых материалов в результате образования модифицирующего пленочного покрытия, снижающего дефектность нити;

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ОРГАНОСИЛАНОВЫМИ АППРЕТАМИ

- различный модифицирующий эффект органосиланов, определяемый их химической природой: большей эффективностью по улучшению прочности волокон обладает А-187, для которого характерен гидролиз алкоксигрупп и раскрытие эпоксидных колец органофункциональной группы в процессе модификации;

- влияние химической природы исследуемых волокон: увеличение устойчивости нитей к разрывным нагрузкам проявляется в большей степени для волокнистых материалов, содержащих поверхностные гидроксильные группы – гидратцеллюлозных и базальтовых нитей;

- улучшение смачивающей способности аппретированных волокнистых наполнителей раствором эпоксидного олигомера, обусловленное повышением полярности используемых компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Функциональные наполнители для пластмасс / под ред. М. Ксантоса. Санкт-Петербург : Научные основы и технологии, 2010. 462 с.
2. Моцарев Г.В., Соболевский М.В., Розенберг В.Р. Карбофункциональные органосиланы и органосилоксаны. Москва : Химия, 1990. 240 с.
3. Цвайфель Х., Маер Р.Д., Шиллер М. Добавки к полимерам : Справочник. Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2016. 1088 с.
4. Kumar R., Obrai S., Sharma A. Chemical modifications of natural fiber for composite material // Der Chemica Sinica. 2011. V. 2. № 4. P. 219–228.
5. Epoxyorganosilane finishing compositions for fibrous fillers of thermosetting and thermoplastic binders / A.V. Shapagin, N.A. Gladkikh, A.A. Poteryaev [et al.] // Polymers. 2022. V. 14. № 1. P. 59–73. doi 10.3390/polym14010059.
6. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. Санкт-Петербург : Научные основы и технологии, 2009. 380 с.
7. Устинова Т.П., Левкина Н.Л., Борисова Н.В. Физико-химические и технологические особенности получения ПАН-волокон и нитей : учеб. пособие. Энгельс : ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2019. 44 с.
8. Роговина С.З., Прут Э.В., Берлин А.А. Композиционные материалы на основе синтетических полимеров, армированных волокнами природного происхождения // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2019. Т. 61. № 4. С. 291–315. doi 10.1134/S2308112019040084.
9. Артеменко С.Е., Кадыкова Ю.А. Физико-химические основы технологии базальтопластиков. Структура и свойства : монография. Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т, 2012. 144 с.
10. Wei B., Cao H., Song S. Surface modification and characterization of basalt fibers with hybrid sizings // Composites. Part A : Applied Science and Manufacturing. 2011. V. 42. № 1. P. 22–29.

doi10.1016/j.compositesa.2010.09.010.

11. Корчина Л.В., Зубова Н.Г., Устинова Т.П. Выбор режима модификации ПАН-жгутика аппретированными добавками // Современные твердофазные технологии : теория, практика и инновационный менеджмент : материалы международной научно-инновационной молодежной конференции. Тамбов : ТГТУ, 2013. С. 228–230.

12. Gerasimova V.M., Zubova N.G., Ustinova T.P. Influence of hydrate cellulose fibers modification parameters on their properties // Fibre Chemistry. 2016. № 48. P. 50–52. doi : 10.1007/s10692-016-9736-z.

13. Effectiveness of modifying viscose technical and basalt yarns used to reinforce epoxy plastics / V.M. Gerasimova, N.G. Zubova, S.G. Kalganova [et al.] // Fibre Chemistry. 2019. № 3. P. 191–194. doi : 10.1007/s10692-019-10072-x.

14. Андреева В.Д., Горшков И.И. Электронная микроскопия материалов : учеб. пособие. Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 139 с.

15. Инфракрасная спектроскопия полимеров / под ред. И. Деханта. Москва : Химия, 1976. 472 с.

16. Кобляков А.И., Кукин Г.Н., Соловьев А.И. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению : учеб. пособие для вузов. Москва : Легкая промышленность, 1986. 334 с.

17. ГОСТ 10213.2-2002. Волокно штапельное и жгут химические. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. Технические условия : введ. 01.11.2003. Москва : Издательство стандартов, 2003.

18. Бычкова Е.В., Кадыкова Ю.А., Левкина Н.Л. Смачивание в композиционных материалах. Саратов : СГТУ, 2012. 20 с.

19. Кадыкова Ю.А. Физико-химические закономерности создания полимерматричных композитов функционального назначения на основе базальтовых дисперсно-волокнистых наполнителей, углеродных и стеклянных волокон : автореф. дисс. ... Д-ра. техн. наук. Саратов, 2013. 44 с.

20. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. Москва : Издательство иностранной литературы, 1963. 590 с.

21. Сытник Р.Д. Модифицирование поверхности силикатных стекол расплавами и растворами. Харьков : Майдан, 1997. 188 с.

Информация об авторах

Н. Г. Зубова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и естественнонаучные дисциплины» Балаковского инженерно-технологического института – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

REFERENCES

1. Xantos, M. (Ed.). (2010). Functional Fillers for Plastics. Saint Petersburg: Scientific foundations and technologies. (In Russ.).
2. Motsarev, G.V., Sobolevsky, M.V. & Rosen-

- berg, V.R. (1990). Carbofunctional organosilanes and organosiloxanes. Moscow : Chemistry. (In Russ.).
3. Zweifel, H., Maier, R.D. & Schiller, M. (2016). Plastics Additives: Handbook. Saint Petersburg: CEP "Profession". (In Russ.).
4. Kumar, R., Obrai, S. & Sharma, A. (2011). Chemical modifications of natural fiber for composite material. Der Chemica Sinica, 2(4), 219-228.
5. Shapagin, A.V., Gladkikh, N.A., Poteryaev, A.A., Stepanenko, V.Yu., Nikulova, U.V. & Khasbiullin, R.R. (2022). Epoxyorganosilane finishing compositions for fibrous fillers of thermosetting and thermoplastic binders. Polymers, 14(1), 59-73. doi: 10.3390/polym14010059.
6. Perepelkin, K.E. (2009). Reinforcing fibers and fibrous polymeric composites. Saint Petersburg : Scientific foundations and technologies. (In Russ.).
7. Ustinova, T.P., Levkina, N.L. & Borisova, N.V. (2019). Physico-chemical and technological features of obtaining PAN fibers and threads. Engels: ETI (branch) of SGTU named after Gagarin Yu.A. (In Russ.).
8. Rogovina, S.Z., Prut, E.V. & Berlin, A.A. (2019). Composite materials based on synthetic polymers reinforced with natural fibers. Polymer Science. Series A, 61(4), 291-315. (In Russ.). doi: 10.1134/S2308112019040084.
9. Artemenko, S.E. & Kadykova, Yu.A. (2012). Physico-chemical fundamentals of basalt plastics technology. Structure and properties. Saratov : Saratov State Technical University. (In Russ.).
10. Wei, B., Cao, H. & Song, S. (2011). Surface modification and characterization of basalt fibers with hybrid sizings // Composites. Part A : Applied Science and Manufacturing, 42(1), 22-29. doi : 10.1016/j.compositesa.2010.09.010.
11. Korchina, L.V., Zubova, N.G. & Ustinova, T.P. (2013). Selection of the mode of modification of the PAN-flagellum by applying additives. Proceedings of the international scientific and innovative youth conference " Modern solid-phase technologies: theory, practice and innovation management ". Tambov : TSTU. 228-230. (In Russ.).
12. Gerasimova, V.M., Zubova, N.G. & Ustinova, T.P. (2016). Influence of hydrate cellulose fibers modification parameters on their properties. Fibre Chemistry, (48), 50-52. Doi : 10.1007/s10692-016-9736- z.
13. Gerasimova, V.M., Zubova, N.G., Kalganova, S.G. & Ustinova, T.P. (2019). Effectiveness of modifying viscose technical and basalt yarns used to reinforce epoxy plastics. Fibre Chemistry, (3), 191-194. Doi : 10.1007/s10692-019-10072- x.
14. Andreeva, V.D. & Gorshkov, I.I. (2016). Electron microscopy of materials. Saint Petersburg: Publishing House of Polytechnical University. (In Russ.).
15. Dehant, I. (Ed.). (1976). Infrared spectroscopy of polymers. Moscow: Chemistry. (In Russ.).
16. Koblyakov, A.I., Kukin, G.N. & Soloviev, A.I. (1986). Laboratory practice on textile materials science. Moscow: Light industry. (In Russ.).
17. Staple fiber and chemical tourniquet. Methods for determining the breaking load and elongation at break. (2003). HOST 10213.2-2002 from 01. Nov. 2003. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).
18. Bychkova, E.V., Kadykova, Yu.A., Levkina, N.L. (2012). Wetting in composite materials. Saratov : SSTU. (In Russ.).
19. Kadykova, Yu.A. (2013). Physico-chemical laws of the creation of polymer matrix composites of functional purpose based on basalt dispersed-fibrous fillers, carbon and glass fibers. Extended abstract of doctors thesis. Saratov. (In Russ.).
20. Bellamy, L. (1963). The Infrared spectra of complex molecules. Moscow : Foreign Languages Publishing House. (In Russ.).
21. Sytnik, R.D. (1997). Modification of the surface of silicate glasses by melts and solutions. Khar'kov : Maidan. (In Russ.).

Information about the authors

N.G. Zubova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Physics and the natural Sciences» of the Balakovo Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University «MEPhI».

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

УДК678.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.025



ВЛИЯНИЕ СЕРПЕНТИНА И ШПИНЕЛИ МАГНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Юлия Валерьевна Капитонова¹, Прасковья Николаевна Тарасова²,
Надежда Николаевна Лазарева³, Айталиня Алексеевна Охлопкова⁴,
Алексей Геннадьевич Туисов⁵, Раиса Васильевна Борисова⁶

^{1, 2, 3, 4, 6} Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

¹ kapitonova-kirillina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0530-0227>

² pn.tarasova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8382-9735>

³ lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

⁴ okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

⁶ brv0901@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3715-9747>

⁵ Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Россия

⁵ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5889-000>

Аннотация. В работе исследовали влияние гибридного наполнения (механоактивированного слоистого силиката – серпентина и наноразмерной синтетической шпинели магния) на физико-механические, триботехнические свойства и структуру политетрафторэтилена (ПТФЭ). Были определены деформационно-прочностные характеристики полимерных композитов (прочность при растяжении, относительное удлинение, модуль упругости) и триботехнические параметры (скорость массового изнашивания, коэффициент трения). Установлено, что физико-механические показатели композитов зависят от концентрации гибридного наполнителя. Показано, что оптимальной концентрацией гибридного наполнителя, приводящей к максимальному повышению износостойкости композита, при сохранении деформационно-прочностных показателей является малое наполнение: содержание серпентина (до 2 мас.%) и шпинели магния (до 0,5 мас.%). При этом зарегистрировано повышение относительного удлинения при разрыве до 23 % и сохранение значения прочности при растяжении и модуля упругости на уровне исходного полимера. Коэффициент трения составляет при этом ~0,24, скорость массового изнашивания снижается в 1100 раз относительно исходного полимера. Для объяснения подобного изменения свойств композита проведены исследования надмолекулярной структуры полимерных композиционных материалов в объеме материала и поверхностях трения методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Установлено, что ламелярная надмолекулярная структура ПТФЭ трансформируется в сферолитную при добавлении серпентина, размеры которых уменьшаются при дополнительном введении наноразмерной шпинели магния. При исследовании морфологии поверхностей трения композитов установлено, что частицы наполнителя локализуются на поверхности трения в процессе изнашивания с формированием вторичной структуры, локализующей сдвиговые деформации и предохраняющей материал от разрушения.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, слоистые силикаты, серпентин, шпинель магния, износостойкие полимерные композиционные материалы.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2021-0016.

Для цитирования: Влияние серпентина и шпинели магния на физико-механические и триботехнические свойства политетрафторэтилена / Ю. В. Капитонова [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 185–190. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.025. EDN: <https://elibrary.ru/XUIRLG>.

Original article

INFLUENCE OF SERPENTINE AND MAGNESIUM SPINEL ON PHYSICO-MECHANICAL AND TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE

Iuliia V. Kapitonova¹, Praskovia N. Tarasova², Nadezhda N. Lazareva³,
Aitalina A. Okhlopko⁴, Aleksei G. Tuisov⁵, Raisa V. Borisova⁶

^{1, 2, 3, 4, 6} North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

¹ kapitonova-kirillina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0530-0227>

² pn.tarasova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8382-9735>

³ lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

⁴ okhlopko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

⁶ brv0901@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3715-9747>

⁵ The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

⁵ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6819-1937>

Abstract. *The effect of hybrid filling (mechanically activated layered silicate – serpentine and nanosized synthetic magnesium spinel on the physico-mechanical, tribotechnical properties and structure of polytetrafluoroethylene (PTFE) was examined in this thesis. The deformation-strength characteristics of polymer composites (tensile strength, relative elongation, modulus of elasticity) and tribotechnical parameters (mass wear rate, friction coefficient) were determined. It was established that the physico-mechanical parameters depend on the concentration of hybrid filler. It was shown that the optimal concentration of the hybrid filler is a small filling: the content of serpentine (up to 2 wt.%) and magnesium spinel (up to 0.5 wt.%), leading to the maximum increase in the wear resistance of the composite, while maintaining the deformation-strength characteristics. At the same time, an increase in relative elongation at break up to 23% was registered, while maintaining the values of tensile strength and elasticity modulus at the level of the initial polymer. Meanwhile, the coefficient of friction is approximately 0.24, the rate of mass wear is reduced to 1100 times relative to the initial polymer. The supramolecular structure of polymer composite materials in the bulk of the material and friction surfaces were studied using scanning electron microscopy (SEM) to explain such a change in the properties of the composite. It has been established that the lamellar supramolecular structure of PTFE is transformed into a spherulite structure upon the addition of serpentine, the dimensions of which decrease with the additional introduction of nanosized magnesium spinel. When studying the morphology of the friction surface of composites it was found that filler particles accumulate on the friction surface during wear and form a secondary structure that localizes shear deformations and protects the material from destruction.*

Keywords: *polytetrafluoroethylene, layered silicates, serpentine, magnesium spinel, wear resistant polymer composite materials.*

Acknowledgements: *This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant numbers [FSRG-2021-0016]).*

For citation: Kapitonova, Iu.V., Tarasova, P.N., Lazareva, N.N., Okhlopko, A.A., Tuisov, A.G. & Borisova, R.V. (2023). Influence of serpentine and magnesium spinel on physico-mechanical and tribotechnical properties of polytetrafluoroethylene. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 185-190. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.025. <https://elibrary.ru/XUIRLG>.

ВВЕДЕНИЕ

Широко используемый в различных областях промышленности в качестве антифрикционного материала политетрафторэтилен (ПТФЭ) помимо превосходной химической инертности, температурной стойкости и низкого коэффициента трения обладает крайне низкой износостойкостью [1]. Технология создания полимерных композиционных

материалов (ПКМ) предполагает использование структурно-активных дисперсных наполнителей для модификации полимерной матрицы. В качестве модификаторов ПТФЭ традиционно используют кокс, дисульфид молибдена, графит, бронзу, оксиды и нитриды металлов [2, 3]. Таким материалам конкуренцию вполне могут составить высокодисперсные слоистые силикаты, которые благодаря своей структуре способны расслаиваться на

ВЛИЯНИЕ СЕРПЕНТИНА И ШПИНЕЛИ МАГНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

единичные нанометровые слои под воздействием определенных условий обработки, что в результате может привести к усиливающему действию полимера уже при низких степенях наполнения [4]. К тому же, себестоимость природных слоистых силикатов существенно отличается от стоимости синтетических высокодисперсных наполнителей. Поэтому использование слоистых силикатов в качестве наполнителей ПТФЭ и изучение свойств ПКМ представляет собой актуальную задачу.

Цель настоящей работы – оценка влияния серпентина и шпинели магния на свойства и структуру ПТФЭ, выявление оптимальной концентрации гибридного наполнителя, обеспечивающей максимальные значения физико-механических характеристик и износостойкости ПКМ.

МЕТОДЫ

В качестве полимерной основы для разработки композитов триботехнического назначения исследовали политетрафторэтилен (ПТФЭ) марки ПН-90 производства ОАО «Галополимер» (Россия). В качестве наполнителей выбраны серпентин и шпинель магния.

Серпентин представляет собой минерал класса слоистых силикатов с общей формулой $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$. Благодаря своей структуре слоистые силикаты способны расслаиваться на отдельные слои нанометровой толщины и представляют собой класс нанометровых наполнителей. Также серпентин известен тем, что благодаря своей способности восстанавливать поверхность трения в трибосопряжениях его используют в качестве геомодификаторов трения в составе пластичных смазок. При этом повышается ресурс работы узлов трения в 1,5–3 раза.

Шпинель магния (ШМ) представляет собой двойной оксид с общей формулой $MgAl_2O_4$. ШМ ранее был использован для наполнения ПТФЭ [3] и показал себя как модификатор, значительно улучшающий физико-механические характеристики ПТФЭ. Средний размер частиц составляет 75 нм, удельная поверхность 170 м²/г.

Предварительную механическую активацию серпентина проводили с помощью планетарной мельницы «Активатор 2S» (Россия) с ускорением 80 g, в течение 120 с. Смешивание полимера с наполнителем осуществляли в лопастном смесителе. Образцы для исследований изготавливали по стандартной технологии переработки ПТФЭ ГОСТ 10007-80 [5].

Физико-механические характеристики исследовали по ГОСТ 11262-80 [6], модуль

упругости – по ГОСТ 9550-81 [7].

Испытания на износостойкость проводили на трибометре UMT-3 (CETR, США) согласно ГОСТ ISO 7148-2:2012 [8] при заданной скорости скольжения 0,2 м/с, нагрузке 2 МПа, температуре 25 °С. Контртело – стальной диск, с шероховатостью 0,06–0,08 Ra, материал контртела – сталь марки 45. Образцы для испытаний представляли собой цилиндр 20*10 мм, схема трения «палец–диск», время испытания образцов – 3 ч. Скорость массового изнашивания рассчитывали по разнице массы до и после испытаний. Коэффициент трения определяли по ГОСТ 11629-2017 [9].

Надмолекулярную структуру в объеме композитов и морфологию поверхностей трения исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-7800F (Jeol, Япония). Для исследования формировали хрупкий скол при температуре жидкого азота.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование влияния различного содержания серпентина и шпинели магния на физико-механические характеристики ПТФЭ представлено на рисунках 1 и 2.

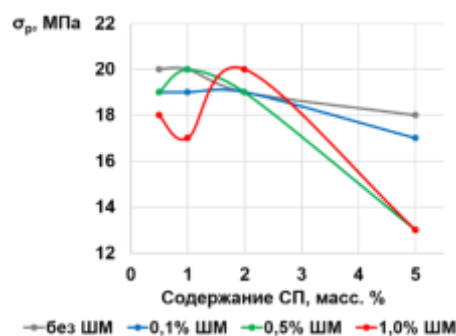


Рисунок 1 – Показатели предела прочности композитов на основе ПТФЭ, содержащих серпентин (СП) и шпинель магния (ШМ)

Figure 1 – Strength limits of PTFE-based composites containing serpentine (SP) and magnesium spinel (MS)

Выявлено, что при низком содержании серпентина (до 2 мас.%) и низком содержании шпинели магния (до 0,5 мас.%) достигается улучшение показателя относительного удлинения при растяжении на 23 %, при этом сохраняется значение прочности на растяжение на уровне ненаполненного ПТФЭ (20±1 МПа), модуль упругости также сохраняется на уровне исходного ПТФЭ (400–430). При превышении указанных значений степени наполнения все показатели снижаются, в том числе и модуль упругости. При увеличении концентрации серпентина свыше 2 мас. % зарегистрировано снижение всех физико-механических показате-

лей. Ухудшение показателей, вероятнее всего, связано с агломерацией наполнителя в процессе переработки ПКМ, в результате чего снижается их структурная активность по отношению к ПТФЭ и формирование при кристаллизации полимера дефектных областей и снижение релаксационных процессов.

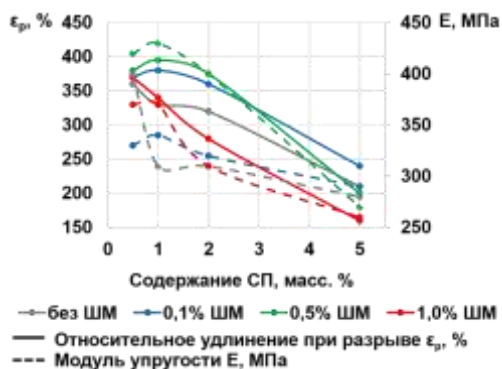


Рисунок 2 – Показатели относительного удлинения и модуля упругости композитов на основе ПТФЭ, содержащих серпентин (СП) и шпинель магния (ШМ)

Figure 2 – Elongation and modulus of elasticity of PTFE-based composites containing serpentine (SP) and magnesium spinel (MS)

На рисунке 3 приведены показатели триботехнических исследований композитов в зависимости от концентрации наполнителей. Полученные данные свидетельствуют о повышении износостойкости с увеличением содержания наполнителей. Наблюдается следующая закономерность влияния серпентина и шпинели магния: при увеличении концентрации серпентина наблюдается повышение износостойкости в 1100 раз при концентрации 2 мас.% СП/0,5 мас.% ШМ и в 1040 раз при концентрации 5 мас. % СП/0,1 мас.% ШМ, однако прослеживается неоднозначное изменение коэффициента трения. С увеличением содержания шпинели магния коэффициент трения в целом повышается. У композитов, содержащих 2 мас.% СП/0,5 мас.% ШМ и 5 мас.% СП/0,1 мас.% ШМ, обладающих самой высокой износостойкостью, показатели коэффициента трения следующие: у первого композита коэффициент трения составляет 0,23, а у второго – 0,3. Следует отметить, что максимальное значение коэффициента трения композитов составляет не более 0,3, что является достаточно хорошим показателем для антифрикционных материалов. Повышение износостойкости связано, прежде всего, с характером взаимодействия компонентов в ПКМ при трении. Так, в случае содержания 2 мас.% СП и 0,5 мас.% ШМ возможно формируется более износостойкая, лабильная структура, с меньшей твердостью, чем в случае ПКМ, содержащих 5 мас. % СП и 0,1 мас.% ШМ.

Для установления влияния серпентина и шпинели магния на изменение надмолекулярной структуры были проведены исследования методом сканирующей электронной микроскопии.

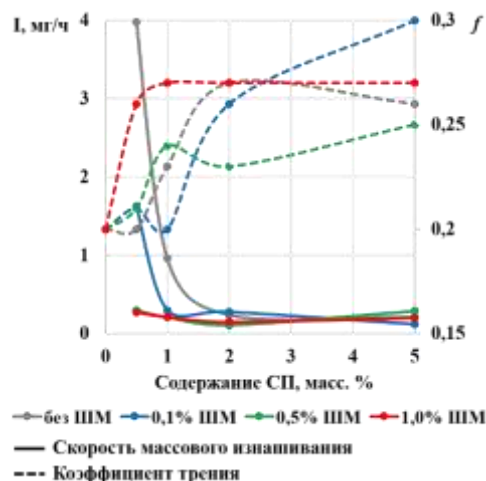


Рисунок 3 – Триботехнические характеристики композитов на основе ПТФЭ, содержащих серпентин (СП) и шпинель магния (ШМ)

Figure 3 – Tribotechnical characteristics of PTFE-based composites containing serpentine (SP) and magnesium spinel (MS)

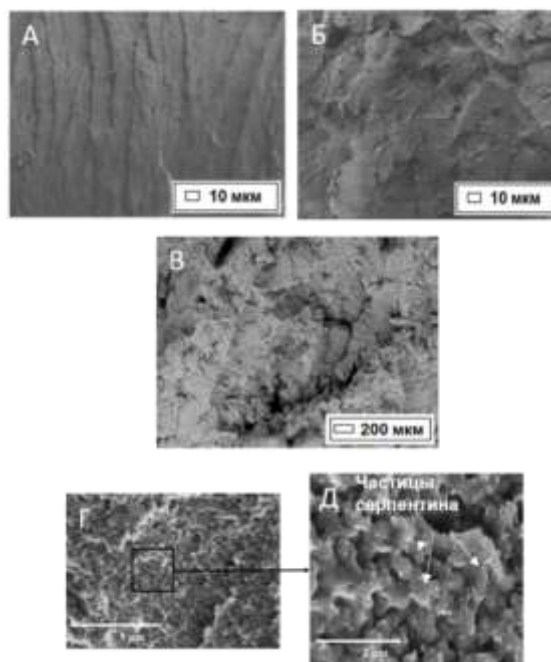


Рисунок 4 – Надмолекулярная структура: а) ПТФЭ; б) ПКМ 2 мас. % СП; в) ПКМ, содержащего 2 мас. % серпентина и 0,5 мас. % ШМ; г) ПКМ, содержащего 5 мас. % серпентина; д) ПКМ, содержащего 5 мас. % серпентина в увеличении

Figure 4 – Supramolecular structure: a) PTFE; b) PCM 2 wt. % SP; c) PCM containing 2 wt. % serpentine and 0.5 wt. % MS; d) PCM containing 5 wt. % serpentine; e) PCM containing

ВЛИЯНИЕ СЕРПЕНТИНА И ШПИНЕЛИ МАГНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

5 wt. % serpentine magnification

Известно, что надмолекулярная структура исходного ПТФЭ характеризуется как ламеллярная [2]. Введение высокодисперсных наполнителей, например, таких как оксид алюминия, способствует формированию сферолитных образований [10]. Слоистые силикаты влияют на надмолекулярную структуру несколько иначе. Введение в полимер механоактивированных слоистых силикатов способствует образованию несовершенных сферолитоподобных надмолекулярных структур. Благодаря повышению активности после механоактивации в процессе формирования ПКМ на активных центрах частиц слоистых силикатов адсорбируются макромолекулы полимера. Частицы силиката распределены равномерно, отсутствуют трещины, поры и межфазное расслоение. В композитах с серпентином и со шпинелью магния надмолекулярная структура представляет собой несколько иную форму – длинные фибриллярные образования, с поперечно направленными ламелями.

Микрофотография поверхности трения композита, содержащего 2 мас. % серпентина, представлена на рисунке 5. Поверхность трения характеризуется наличием трещин и частиц продуктов износа.

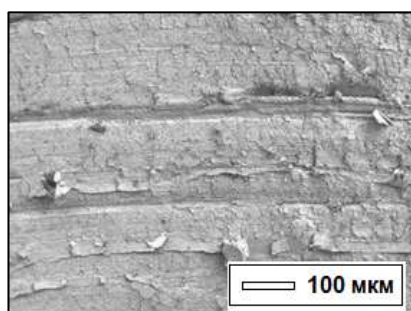


Рисунок 5 – Поверхность трения композита, содержащего 2 мас. % серпентина

Figure 5 – The friction surface of a composite containing 2 wt. % serpentine

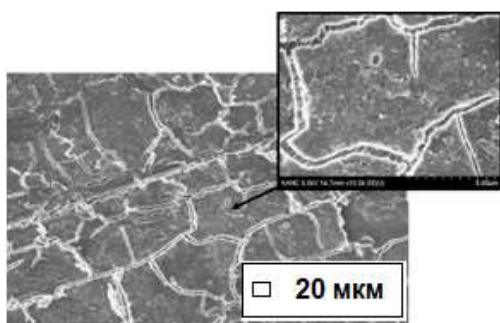


Рисунок 6 – Поверхность трения композита, содержащего 2 мас. % серпентина при большем увеличении (x5000)

Figure 6 – The friction surface of a composite containing 2 wt. % serpentine at higher

magnification (x5000)

При большем увеличении (рис. 6) можно наблюдать, что фибриллы макромолекул полимера связывают эти фрагменты и предотвращают отрыв частиц при сдвиговых деформациях, а сама поверхность трения покрыта мелкодисперсными частицами, по всей видимости, наполнителя.

При изучении поперечного среза (рис. 7) поверхности трения было обнаружено скопление частиц наполнителя на поверхности трения. Вероятно, именно данный слой из частиц наполнителей способствует формированию износостойкой поверхности.



Рисунок 7 – Поперечный срез поверхности трения композита, содержащего 2 мас. % серпентина

Figure 7 – Cross section of the friction surface of the composite containing 2 wt. % serpentine

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлены оптимальные концентрации содержания наполнителей – 2%СП+0,5%ШМ и 5%СП+0,1%ШМ, при которых достигается существенное повышение износостойкости до 1100 и 1040 раз соответственно, и улучшение физико-механических свойств материала. Показатели предела прочности при растяжении и модуля упругости при этом сохраняются, относительного удлинения повышается на 23 %. Изучена структура поверхностей трения композитов методом СЭМ. Показано, что износостойкость повышается в результате формирования вторичной структуры, состоящей из продуктов износа ПКМ и частиц наполнителей. Установлено, что благодаря структурной активности наполнителей формируется ориентированная по направлению скольжения сетчатая структура с четко выраженными границами структурных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паншин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласты : Справочник / под ред. Э.Э. Ярцева. Ленинград : Химия, 1978. 232 с.

2. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена / Ю.К. Машков [и др.]. Москва : Машиностроение, 2005. 239 с.

3. Охлопкова А.А., Виноградов А.В., Пинчук Л.С. Пластики, наполненные ультрадисперсными неорганическими соединениями. Гомель : ИММСНАНБ, 1999. 164 с.

4. Vaia R.A., Giannelis E.P. Polymer nanocomposites: status and opportunities // MRS bulletin. 2001. № 5. P. 394–401.

5. ГОСТ 10007-80. Фторопласт-4. Технические условия : введ. 1981-07-01. Москва, 2008, 15 с.

6. ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение : введ. 1980-12-01. Москва, 1986, 14 с.

7. ГОСТ 9550-81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе : введ. 1982-07-01. Москва, 2004, 7 с.

8. ГОСТ ISO 7148-2:2012. Подшипники скольжения. Испытание трибологических характеристик подшипниковых материалов : введ. 2012-10-01. Швейцария, 2012. 29 с.

9. ГОСТ 11629-2017. Пластмассы. Метод определения коэффициента трения : введ. 2018-07-01. Москва, 2017. 4 с.

10. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена / А.А. Охлопкова [и др.] // Российский химический журнал. 2008. № 3. С. 147–152.

Информация об авторах

Ю. В. Капитонова – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные композиты для Севера», Институт естественных наук, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова».

П. Н. Тарасова – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные композиты для Севера», Институт естественных наук, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова».

Н. Н. Лазарева – кандидат технических наук, в.н.с.-зав.лаб. УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов им. С.А. Слепцовой» Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. А. Охлопкова – д.т.н., главный научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов им. С.А. Слепцовой», Институт естественных наук, ФГАОУ ВО «Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова».

А. Г. Туисов – к.т.н., руководитель «Лаборатории композиционных материалов Арктики и Субарктики», Федеральный исследовательский центр ЯНЦ СО РАН.

Р. В. Борисова – старший преподаватель, Химическое отделение, Институт естественных наук, ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

REFERENCES

1. Panshin, Yu.A., Malkevich, S.G. & Dunaevskaya, C.S. (1978). *Fluoroplastics: Handbook*. Leningrad : Himiya (In Russ.).

2. Mashkov, Yu.K., Ovchar, Z.N., Surikov, V.I. & Kalistratova, L.F. (2005). Composite materials based on polytetrafluoroethylene. Moscow: Mashinostroenie (In Russ.).

3. Okhlopkova, A.A., Vinogradov, A.V. & Pinchuk, L.S. (1999). Plastics filled with ultrafine inorganic compounds. Gornyi: IMMS NANB. (In Russ.).

4. Vaia, R.A. & Giannelis, E.P. (2001). Polymer nanocomposites: status and opportunities. *MRS bulletin*, (5), 394-401.

5. Fluoroplast-4. Specifications. (2008). HOST 10007-80 from 1 Jul. 1981. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

6. Plastics. Tensile test method. (1986). HOST 11262-80 from 1 Dec. 1980. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

7. Plastics. Methods for determining the modulus of elasticity in tension, compression and bending. (2004). HOST 9550-81 from 1 Jul. 1982. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

8. Plain bearings - Testing of the tribological behaviour of bearing materials. (2012). ISO 7148-2:2012 from 1 Oct. 2012. Switzerland: International Standard.

9. Plastics. Friction coefficient determination method. (2017). HOST 11629-2017 from 1 Jul. 1981. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

10. Okhlopkova, A.A., Petrova, P.N., Popov, S.N. & Sleptsova, S.A. (2008). Polymer composite materials for tribotechnical purposes based on polytetrafluoroethylene. *Rossiyskiy khimicheskij zhurnal*, (3), 147-152. (In Russ.).

Information about the authors

Yu.V. Kapitonova - Junior Researcher of the Laboratory "Polymer Composites for the North", Institute of Natural Sciences, NEFU.

P.N. Tarasova - Junior Researcher of the Laboratory "Polymer Composites for the North", Institute of Natural Sciences, NEFU.

N.N. Lazareva - Candidate of Technical Sciences, Head of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites named after S.A. Sleptsova", Institute of Natural Sciences, NEFU.

A.A. Okhlopkova - Doctor of Technical Sciences, professor, Chief Researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites named after S.A. Sleptsova", Institute of Natural Sciences, NEFU.

A.G. Tuisov - Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS".

R.V. Borisova - senior lecturer of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU.



Научная статья

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

УДК54.03

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.026

EDN: GZWGQL

РАСПЛАВНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Виталий Евдокимович Рогов ¹, Любовь Александровна Бохоева ²

¹ ФГБУН «Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук», Улан-Удэ, Россия

² ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», Улан-Удэ, Россия

² ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия

¹ rogov54v@mail.ru

² bohoeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6986-4307>

Аннотация. В статье представлена низкотратная, энергоэффективная, эколого-безопасная технология получения изделий из композиционных материалов. Безавтоклавная технология изготовления деталей и элементов конструкций из полимерных композиционных материалов известна как технология RFI (Resin Film Infusion) с использованием расплавных связующих. Низкие затраты на формование изделий из ПКМ по технологии RFI (необходимое оборудование: термощкафы, вакуумные насосы, оснастка формируемых изделий, вспомогательное оборудование и материалы) позволяют получать изделия многообразных форм. Способ RFI обеспечивает требуемое соотношение массы наполнителя и связующего в материале детали и позволяет получать детали с необходимыми жесткостными характеристиками. В технологии RFI исключены дорогостоящая процедура изготовления препрега и термический процесс формования изделий в автоклаве, что приводит к снижению стоимости детали на 20–25 %. В результате применения расплавленной технологии достигается: снижение цикла изготовления клееных конструкций в 2–3 раза, трудоемкости изготовления сотовых конструкций на 40–50 % (за счет сокращения технологических операций по сравнению с обычными клеями), количества оснастки в 1,5–2 раза, веса конструкции (особенно с сотовым наполнителем) на 30–50 %, количества выбросов вредных веществ в атмосферу в 10–15 раз.

Ключевые слова: расплавные связующие, наполнитель, полимеры, композиционные материалы, RFI технология, изделия, оснастка, эпоксидная смола, липкая пленка.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Байкальского института природопользования СО РАН № 0273-2021-0007, программы «Приоритет-2030» ФГБОУ ВО ИРНТУ «i.DIT».

Для цитирования: Рогов В. Е., Бохоева Л. А. Расплавные связующие для изделий из полимерных композиционных материалов // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 191–196. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.026. EDN: <https://elibrary.ru/GZWGQL>.

Original article

MELT BINDERS FOR ARTICLES MADE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Vitaly E. Rogov ¹, Lyubov A. Bokhoeva ²

¹ Baikal Institute of Nature Management of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia

² East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

² Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

¹ rogov54v@mail.ru

² bohoeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6986-4307>

© Рогов В. Е., Бохоева Л. А., 2023

Abstract. The article presents a low-cost, energy-efficient, environmentally safe technology for obtaining products from composite materials. The autoclavless technology of manufacturing parts and structural elements from polymer composite materials is known as RFI (Resin Film Infusion) technology using molten binders. The low costs of forming PCM products using RFI technology (necessary equipment: thermal cabinets, vacuum pumps, tooling of formed products, auxiliary equipment and materials) make it possible to obtain products of various shapes. The RFI method ensures the required weight ratio of filler and binder in the material of the part and enables to obtain parts with the necessary stiffness characteristics. RFI technology eliminates the expensive prepreg manufacturing procedure and the thermal process of autoclave molding, which leads to a 20-25 % reduction in the cost of the part. As a result of the use of molten technology, it is achieved: reducing the production cycle of glued structures by 2-3 times, the labor intensity of manufacturing honeycomb structures by 40-50 % (due to a reduction in technological operations compared to conventional adhesives), the amount of equipment by 1.5-2 times, the weight of the structure (especially with honeycomb filler) by 30-50 %, the amount of emissions of harmful substances into the atmosphere by 10-15 times.

Keywords: melt binders, filler, polymers, composite materials, RFI technology, products, tooling, epoxy resin, adhesive film.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Baikal Institute of Nature Management of the SB RAS No. 0273-2021-0007, the Priority-2030 program of the IRNITU i.DIT.

For citation: Rogov, V. E. & Bokhoveva, L. A. (2023). Melt binders for articles made of polymer composite materials. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 191-196. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.026. <https://elibrary.ru/GZWGQL>.

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) нашли достойное применение с 70-х годов прошлого века в конструктивных элементах и изделиях космической и авиационной отраслях [1, 2, 3]. Это обусловлено тем, что они обладают значительными преимуществами по сравнению с традиционными металлами (чугуны, конструкционные стали, алюминиевые и титановыми сплавы) – высокая прочность, коррозионная устойчивость, низкая плотность и долговечность. Для изготовления изделий и элементов конструкций из таких недешевых и дефицитных материалов необходимо было специальное дорогостоящее и энергоемкое оборудование и другие вспомогательные средства. Данные факты выступили основными ограничителями по их внедрению в других областях промышленности. Отставание по использованию ПКМ, например, в области машиностроения, наблюдается и в данное время, несмотря на то, что диапазон применения этих материалов увеличивается день ото дня. В машиностроении предпочтение отдавалось технологиям изготовления корпусных изделий из стали и сплавов, поскольку они относительно просты и производство их давно отлажено (штампуются отдельные листы разной толщины, свариваются в узлы и собираются в единый блок) и получаются готовые изделия. Недостатки таких конструкций – большая масса и слабая

коррозионная стойкость материала. Использование в элементах конструкций алюминиевых материалов позволило повысить защиту от коррозии, но значительно уменьшить массу конструкций не удалось из-за низкой прочности и жесткости алюминия. Использование более прочных и легких материалов, состоящих из армирующих наполнителей и клеящих связующих, не рассматривалось ввиду их дефицита и стоимости. В настоящее время применение ПКМ в массовом производстве элементов конструкций и изделий в машиностроении открывает новые перспективы, поскольку разработаны новые технологии получения различных волокон, из которых создаются армирующие наполнители, современные низкозатратные и энергоэффективные технологии получения ПКМ, новые типы вспомогательных материалов, а также высокоэффективные связующие компоненты [1]. В связи с этим можно утверждать, что возможности массового использования композиционных материалов в России в различных конструкциях и изделиях уже не столь фантастичны. В настоящее время многие изделия из композитов впечатляют своим совершенством и дизайном. Им отводится важная роль практически во всех отраслях промышленности: в судостроении (маломерный флот – катера, яхты); в авиации (корпусные детали самолетов, вертолетов, малая авиация); в энергетике (ветрогенераторы); в автомобилестроении (корпусные детали); в промышленности (трубы, баллоны, емкости).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Широкое применение ПКМ нашли в габаритных изделиях, выполненных из тканей или волокон из стекла или углеволокон, а в качестве связующих компонентов применяются различные термореактивные смолы (эпоксидные, фенолоальдегидные, полиэфирные, полиимидные, полиамидоимидные, полиамидные и др.). Среди них наибольшее распространение получили эпоксидные смолы, которые обладают широким диапазоном прочностных и деформационных свойств, хорошей смачиваемостью и адгезией к различным материалам. Механические характеристики композиционных материалов зависят от свойств наполнителя (волокна), однако свойства полимерного связующего (смолы) оказывают решающее влияние на эксплуатационные свойства композита, создавая монолитный конструкционный материал. Коэффициенты жесткости и податливости ПКМ определяются по известным характеристикам армирующих элементов и связующего. При некоторых упрощающих предположениях определить механические характеристики материала возможно с помощью «правила смесей», которое отражает вклад каждого компонента (матрицы и волокна) пропорционально его объемной доле [2, 3, 4]. Представив композиционный материал в виде чередования слоев, обладающих свойствами матрицы и волокна, экспериментально определяются объемная доля волокон и связующего (смолы). Например, использование эпоксидных смол в изделиях из ПКМ для летательных аппаратов достигает до 80 % [5]. Для получения готовых деталей из слоистых стекло- и углепластиков в отечественной промышленности в основном применяется технология «мокрой» пропитки, предусматривающая процесс смачивания тканых материалов или волокон растворами связующих, а также формования деталей за счет предварительно приготовленных препрегов. Однако в обоих случаях в растворах полимерных связующих присутствует остаточный растворитель, отрицательно влияющий на структуру композита (вызывает образование пор в межслоином пространстве), снижает водостойкость и прочностные характеристики ПКМ (стойкость к ударным и знакопеременным нагрузкам). Наряду с этим растворители негативно влияют на здоровье людей (выделяющиеся пары значительно превышают концентрации вредных веществ в воздухе), вредны для окружающей среды и пожароопасны.

В настоящее время в мире наиболее

экологично и экономично получать изделия из ПКМ путем использования связующих в виде полимерных расплавов. За рубежом (США, Канада, Китай, Япония и др.) машиностроительные корпорации широко используют расплавную технологию для изготовления корпусных изделий из композиционных материалов. Такая безавтоклавная технология изготовления деталей известна как технология RFI (Resin Film Infusion) и характеризуется рядом преимуществ по сравнению с традиционным способом. В технологии RFI исключены достаточно дорогостоящая процедура изготовления препрега и термический процесс формования изделий в автоклаве, что (по оценкам зарубежных коллег) приводит к снижению стоимости детали на 20–25 %. К сожалению, данные расплавные технологии не нашли широкого применения в России. Разберем причины невостребованности данной технологии на предприятиях машиностроительного комплекса. Известным сдерживающим фактором внедрения композитов в промышленности является факт незнания многими проектировщиками и конструкторами возможностей композиционных материалов из-за отсутствия нормативной и справочной базы данных об этих материалах. В справочниках по композиционным материалам давно устаревшая информация [6, 7]. Если для металлических конструкций прочностные характеристики закладываются в виде дополнительных коэффициентов запаса прочности при проектировании, то для конструкций из композитных материалов этот вопрос остается открытым. Также в нашей стране не производится специальное оборудование для изготовления изделий из ПКМ по современным технологиям (RFI, RTM, VARNM и др.). Недостаточный технологический опыт в изготовлении заготовок и готовых изделий из ПКМ и высокая стоимость единичного или мелкосерийного производства [8]. По мнению авторов работы, технология RFI наиболее востребована в отечественном транспортном машиностроении – это изделия для железнодорожного транспорта, трамваев, троллейбусов, автобусов, а также для машин и механизмов химического машиностроения, где можно с пользой внедрять изделия из стекла и углепластиков. Химическая стойкость композитов позволяет использовать их практически во всех известных агрессивных средах.

Технология RFI для изготовления изделий с использованием экологичных расплавных связующих состоит из следующих операций:

- на внешнюю формовочную поверхность предварительно приготовленной

оснастка наносится антиадгезионный состав или выкладывается разделительная пленка;

- затем поочередно выкладываются слои армирующего наполнителя и связующего полимера. В данной технологии полимерное связующее представляется в виде эластичной умеренной липкости пленки. Возможна выкладка на оснастку заранее подготовленным пакетом;

- формируется технологический пакет с использованием вспомогательных материалов (разделительные, дренажные слои, герметизирующий жгут и др.);

- пакет накрывается вакуумным мешком, герметизируется и вакуумируется;

- собранный пакет устанавливается в термощкаф;

- формование готового изделия осуществляется при определенной температуре и выдержке. При повышении температуры происходит резкое снижение вязкости связующего, а за счет вакуума осуществляется пропитка наполнителя.

- по истечении определенного времени связующее полимеризуется, формируя готовое изделие.

Технологический пакет для изготовления детали методом RFI представлен на рисунке 1. Для подогрева и отверждения пленки используется термощкаф.



Рисунок 1 – Технологический пакет для изготовления изделий из ПКМ методом RFI

Figure 1 – Technological package for the manufacture of PCM products by RFI method

Низкие затраты на формование изделий из ПКМ по технологии RFI (необходимое оборудование: термощкафы, вакуумные насосы, оснастка формируемых изделий, вспомогательное оборудование и материалы) позволяют получать изделия многообразных форм. Способ RFI обеспечивает требуемое соотношение массы наполнителя и связующего в материале детали и позволяет получать детали с необходимыми физико-механическими характеристиками материала.

Связующее пленочного типа при ком-

натной температуре представляет собой эластичную умеренной липкости пленку, которая легко выкладывается на поверхность армированного наполнителя. На рисунке 2 представлено изображение эластичной пленки из эпоксидных связующих при нанесении на специальную бумагу.



Рисунок 2 – Нанесение эластичной пленки на специальную бумагу

Figure 2 – Application of elastic film on special paper

Клеевое связующее наносится на бумагу с антиадгезионным покрытием при температуре 60–65 °С. Поверх пленочного клея прикатывается защитная полиэтиленовая пленка. Полученный таким образом пленочный клей сматывается в рулон и поставляется потребителям для последующего использования. В данной технологии основным объединяющим компонентом изделия является именно качественный пленочный клей, без которого невозможно получить изделия с высокими прочностными характеристиками.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первые публикации о пленочных связующих полимерах и об особенностях изготовления ПКМ по RFI-технологии появились в российском журнале в 2010 году. [9, 10, 11]. С тех пор сотрудниками ВИАМ ведутся исследования по разработке новых связующих для технологии RFI с максимальной рабочей температурой 170 °С, а также исследования по созданию материалов и технологий их изготовления. К таким связующим предъявляются достаточно жесткие требования по реологическим свойствам [12]. Связующая пленка должна обладать достаточно низкой вязкостью в процессе пропитки, при этом при нормальной температуре должна иметь высокие значения для обеспечения возможности существования связующего в виде эластичного полимерного слоя. Составы и технологии получения российских расплавных

полимерных связующих запатентованы ВИАМом только в 2015 году. На настоящий момент в Федеральном институте промышленной собственности зарегистрировано 8 патентов на изобретения, на составы и технологии получения расплавных связующих [13–21]. Патентообладателем 2-х патентов является ВИАМ, а остальные патенты оформлены от предприятия АО "Препрег-Современные композиционные материалы". Патенты на изобретения действующие и на некоторые из них оформлены лицензионные соглашения, по которому одна сторона – обладатель исключительного права на результат интеллектуальной деятельности (состав и способ получения расплавного связующего) предоставляет другой стороне право использования (данного связующего) в предусмотренных договором пределах. Данные расплавы – многокомпонентные системы – получают из смесей различных эпоксидных компаундов с отвердителями, модификаторами пленочных свойств, технологическими добавками и агентами для смачивания армирующих волокон. Многие химические компоненты для получения данных связующих производятся на российских предприятиях (ФКП «Завод имени Я.М. Свердлова», АО «Институт пластмасс им. Г.С. Петрова», ОАО «Котласский химзавод» ООО «Дорос», ЗАО «ХимЭкс Лимитед», ООО «НПП «Макромер» и др.), однако в патентах также используются химические реагенты, производство которых в России отсутствует.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в нашей стране разработаны современные и перспективные составы для расплавных связующих, которые необходимы для массового внедрения экологичной технологии RFI. Существенным преимуществом данной технологии является возможность изготовления деталей двойной кривизны, которая нашла применение и используется для изготовления интегральных конструкций из ПКМ, а также конструкций, сочетающих сотовые и монолитные элементы. В результате применения расплавленной технологии достигается: снижение цикла изготовления клееных конструкций в 2–3 раза, трудоемкости изготовления сотовых конструкций на 40–50 % (за счет сокращения технологических операций по сравнению с обычными клеями), количества оснастки в 1,5–2 раза, веса конструкции (особенно с сотовым наполнителем) на 30–50 %, количества выбросов вредных веществ в атмосферу в 10–15 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года / В сб. : Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М. : ВИАМ. 2012. С. 7–17.
2. Бохоева Л.А., Рогов В.Е., Балданов А.Б., Иванов Ю.Н. Моделирование оптимальной многослойной пластины из композиционных материалов для снижения скорости после удара // Машиностроение и инженерное образование. 2022. № 3–4 (70). С. 3–11.
3. Бохоева Л.А., Балданов А.Б., Рогов В.Е. Математическое моделирование потери устойчивости локальных расслоений, полученных в результате скоростного удара // Инженерный журнал : наука и инновации. 2022. № 12 (132).
4. Бохоева Л.А., Рогов В.Е., Чермошенцева А.С. Устойчивость круглых дефектов типа отслоений в элементах конструкций с учетом поперечного сдвига // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 4 (44). С. 19–22.
5. Халиулин В.И., Шапаев И.И. Технология производства композитных материалов. Казань : Изд-во Казанского гос. тех. ун-та. 2004. 332 с.
6. Композиционные материалы : справочник / В.В. Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В., Алфутов Н.А. [и др.] : под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. М. : Машиностроение. 1990. 510 с.
7. Композиционные материалы : Справочник / Л.Р. Вишняков, Т.В. Грудина, В.Х. Кадыров [и др.] : Под ред. Д.М. Карпиноса. Киев : Наук. думка, 1985. 592 с.
8. Тарахнов Н.С., Холодников Ю.В. Что делать для развития производства композитов в России // Композитный мир. 2008. № 6. С. 36–41.
9. Чурсова Л.В., Душин М.И., Коган Д.И., Панина Н.Н., Ким М.А., Гуревич Я.М., Платонов А.А. Пленочные связующие для RFI-технологии // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2010, т. LIV, № 1. С. 63–67.
10. Панина Н.Н., Ким М.А., Гуревич Я.М., Григорьев М.М., Чурсова Л.В., Бабин А.Н. Связующие для безавтоклавного формования изделий из полимерных композиционных материалов // Клеи. Герметики. Технологии. 2013. № 10. С. 18–27.
11. Петрова А.П., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Технология пропитки пкм способом пропитки пленочным связующим // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. № 6. С. 25.
12. Каблов Е.Н., Чурсова Л.В., Бабин А.Н., Мухаметов Р.Р., Панина Н.Н. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области расплавных связующих для полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2. № 2. С. 37–42.
13. Истягин С.Е., Вешкин Е.А., Постнов В.И., Коган Д.И. Роль технологических факторов в формировании стабильности свойств пленочного связующего // Труды ВИАМ. 2016. № 5(41). С. 7.
14. Патент РФ 2565177 Эпоксидное связующее пленочного типа Патентообладатель: ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" (RU) опублик.: 20.10.2015. Бюл. № 29.

15. Патент РФ 2601486 Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него Патентообладатель(и): ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" (ФГУП "ВИАМ") (RU) опубл. : 10.11.2016. Бюл. № 31.

16. Патент РФ 2663444 Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него Патентообладатель : АО "Препрег-Современные композиционные материалы" (RU) опубл.: 06.08.2018. Бюл. № 22.

17. Патент РФ 2655805 Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него АО "Препрег-Современные композиционные материалы" (RU) опубл.: 29.05.2018. Бюл. № 16.

18. Патент РФ 2686917 Эпоксидное клеевое связующее и пленочный клей на его основе АО "Препрег-Современные композиционные материалы" (RU) ; опубл. : 06.05.2019. Бюл. № 13.

19. Патент РФ 2686919 Эпоксидное клеевое связующее, пленочный клей и клеевой препрег на его основе Патентообладатель : АО "Препрег-Современные композиционные материалы" (RU). опубл. : 06.05.2019. Бюл. № 13.

20. Патент РФ 2718831 Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него. Патентообладатель : АО "Препрег-Современные композиционные материалы" (RU) опубл. : 14.04.2020. Бюл. № 11.

21. Патент РФ 2718782 Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него. Патентообладатель : АО "Препрег-

Современные композиционные материалы" (RU). опубл. : 14.04.2020. Бюл. № 11.

22. Патент на изобретение RU 2715188 С2 Способ получения слоистого пластика Патентообладатель : ООО «МИП «БНЦП» 25.02.2020. Бюл. № 6.

Информация об авторах

В. Е. Рогов – доктор технических наук, научный сотрудник Байкальского института природопользования Сибирского отделения Российской академии наук.

Л. А. Бокоева – доктор технических наук, профессор Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Иркутского национального исследовательского технического университета.

Information about the authors

V.E. Rogov - Doctor of Technical Sciences, Research Associate of the Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

L.A. Bokhoeva - Doctor of Technical Sciences, Professor, East Siberian State University of Technology and Management, Irkutsk National Research Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК665.2:54.05

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.027

 EDN: TZAVYO

ИССЛЕДОВАНИЕ ГУМИНОВЫХ И ФУЛЬВОКИСЛОТ МУМИЕ ПО ДАННЫМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Галина Романовна Бухалова ¹, Лина Викторовна Затонская ²

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

¹ buxalov99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5297-7014>

² zatonskayalv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2842-2710>

Аннотация. На сегодняшний день одним из интенсивно развивающихся направлений современной химии является анализ продуктов жизнедеятельности и распада живых организмов – гуминовых веществ, разработка технологии и подбор оптимальных режимов по их выделению. К тому же имеется большая потребность в эффективных, экологически безопасных препаратах, какими и являются препараты на основе мумие благодаря своим главным действующим веществам – гуминовым и фульвокислотам. Именно от их количества зависят полезные свойства самого мумие. Поэтому разработка способов извлечения гуминовых и фульвокислот из мумие, изучение их свойств и практического применения является актуальным направлением научных исследований. Цель нашей работы – извлечение гуминовых и фульвокислот из мумие, исследование полученных образцов методом ИК-спектроскопии. Используя методику, основанную на гравиметрическом определении содержания гуминовых кислот, экстрагированных из продукта щелочным раствором, определены массовые доли гуминовых кислот в двух анализируемых образцах мумие: монгольского (образец 1) и алтайского (образец 2) производства, которые составили $(9,4 \pm 0,2) \%$ и $(5,7 \pm 0,1) \%$ соответственно. Предложена методика извлечения фульвокислот из фракции после осаждения гуминовых кислот. С помощью ИК-спектроскопии подтверждено качественное содержание гуминовых и фульвокислот в мумие.

Ключевые слова: мумие, гуминовые кислоты, фульвокислоты, гравиметрический анализ, экстракция, ИК-спектроскопия.

Для цитирования: Бухалова Г. Р., Затонская Л. В. Исследование гуминовых и фульвокислот мумие по данным ИК-спектроскопии // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 197–202. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.027. EDN: <https://elibrary.ru/TZAVYO>.

Original article

INVESTIGATION OF HUMIC AND FULVIC ACIDS OF MUMIYO ACCORDING TO IR SPECTROSCOPY DATA

Galina R. Bukhalova ¹, Lina V. Zatonskaya ²

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

¹ buxalov99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5297-7014>

² zatonskayalv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2842-2710>

Abstract. To date, one of the rapidly developing areas of modern chemistry is the analysis of the products of vital activity and decay of living organisms - humic substances, the development of technology and the selection of optimal modes for their isolation. In addition, there is a great need for effective, environmentally friendly preparations, such as mumiyo-based preparations due to their main

© Бухалова Г. Р., Затонская Л. В., 2023

active ingredients - humic and fulvic acids. It is on their quantity that the beneficial properties of the mumiyo itself depend. Therefore, the development of methods for extracting humic and fulvic acids from mumiyo, the study of their properties and practical application is an important area of scientific research. The purpose of our work is the extraction of humic and fulvic acids from mumiyo, the study of the obtained samples by IR spectroscopy. Using a technique based on the gravimetric determination of the content of humic acids extracted from the product with an alkaline solution, the mass fractions of humic acids in two analyzed samples of mumiyo were determined: Mongolian (sample 1) and Altai (sample 2) production, which amounted to $(9,4 \pm 0,2) \%$ and $(5,7 \pm 0,1) \%$, respectively. A technique for extracting fulvic acids from a fraction after precipitation of humic acids is proposed. With the help of IR spectroscopy, the qualitative content of humic and fulvic acids in the mumiyo was confirmed.

Keywords: mumiyo, humic acids, fulvic acids, gravimetric analysis, extraction, IR spectroscopy.

For citation: Bukhalova, G. R. & Zatonskaya, L. V. (2023). Investigation of humic and fulvic acids of mumiyo according to IR spectroscopy data. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 197-202. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.027. <https://elibrary.ru/TZAVYO>.

ВВЕДЕНИЕ

Мумие – органоминеральный продукт природного происхождения, представляющий собой куски различной формы и величины неоднородной плотной твердой массы с неровной или зернистой, матовой или блестящей поверхностью, хрупкой или тугопластичной консистенции с включениями растительного (части стеблей, корней, семена), минерального (кусочки горных пород) и животного происхождения, заключенными в смолоподобное вещество коричневого, темно-коричневого, черного с бледно-серыми пятнами цвета, специфического запаха, в образовании которого принимают участие горные породы, почва, растения, животные, микроорганизмы [1].

Мумие является одним из средств народной медицины, под действием компонентов, входящих в его состав, активизируются обменные процессы, увеличивается количество эритроцитов, повышается содержание гемоглобина в крови. Мумие оказывает выраженное противомикробное и антибактериальное действие, повышает защитные силы организма, является надежным и эффективным средством при лечении некоторых инфекционных заболеваний и заболеваний, связанных с воспалительным процессом [2–4].

Гуминовые и фульвокислоты, содержащиеся в мумие, представляют собой сложную смесь высокомолекулярных и полифункциональных соединений алициклической, ароматической, гидроароматической и гетероциклической природы. Гуминовые кислоты – это наиболее обширная группа гумусовых кислот, которые растворимы в щелочах и нерастворимы в кислотах. Фульвокислоты – это органические соединения, которые находятся в кислом фильтрате после осаждения гуминовых кислот [5].

Между гуминовыми и фульвокислотами установлено генетическое единство. Строение молекул гуминовых и фульвокислот сходно. Обе группы этих соединений – высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты. Фульвокислоты отличаются от гуминовых более светлой окраской, большей окисленностью и гидрофильностью, а также меньшим содержанием углерода [6].

Гуминовые кислоты нашли широкое применение в различных сферах жизнедеятельности. Они используются в сельском хозяйстве, в косметологии и грязелечении, как БАДы, так как могут сорбировать ксенобиотики и антигены, производные гуминовых кислот могут применяться в качестве редокс- и комплексообразующих агентов. Фульвокислоты содержатся в мумие в меньшем количестве, чем гуминовые кислоты. Они способствуют усилению процессов метаболизма, что обеспечивает более слаженную и эффективную работу многих систем и органов [7–10].

Поэтому целью данного исследования являлось определение количественного содержания гуминовых кислот и качественного содержания фульвокислот в различных образцах мумие с последующим подтверждением их химического состава методом ИК-спектроскопии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для анализа были взяты два образца мумие: монгольского (образец 1) и алтайского (образец 2) производства.

Для количественного определения гуминовых кислот был выбран гравиметрический метод. К 0,5 г исследуемого образца добавляли 30 мл 1 % раствора NaOH и нагревали в колбе с обратным холодильником в течение 3 часов на кипящей водяной бане. По оконча-

ИССЛЕДОВАНИЕ ГУМИНОВЫХ И ФУЛЬВОКИСЛОТ МУМИЕ ПО ДАННЫМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

нии щелочного гидролиза смесь охлаждали до комнатной температуры. Полученный экстракт фильтровали, осадок промывали несколько раз 5 мл раствора NaOH. Экстракты гуминовых кислот после фильтрования исследуемых образцов мумие представлены на рисунке 1. По интенсивности окраски экстрактов можно было предположить, что наибольшее содержание гуминовых кислот находится в образце 1.



Рисунок 1 – Экстракты гуминовых кислот после фильтрования

Figure 1 – Humic acid extracts after filtration

Затем к отфильтрованному экстракту добавляли 5 мл 5,0 % раствора HCl (pH 3–4), полученную смесь хорошо перемешивали стеклянной палочкой и выпавшему осадку давали отстояться в течение нескольких часов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Осадки гуминовых кислот

Figure 2 – Precipitates of humic acids

Далее осадок фильтровали через беззольный фильтр, предварительно высушенный в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 105 °С. По окончании

фильтрования осадок промывали дистиллированной водой.

Фильтр с осадком гуминовых кислот помещали во взвешенный бюкс, также предварительно высушенный до постоянной массы при температуре 105 °С, и высушивали в сушильном шкафу до постоянного веса (рисунок 3). Контрольное взвешивание после дополнительного высушивания и охлаждения проводили до тех пор, пока разность масс составляла не более 0,5 мг. Для каждого образца мумие исследования проводили в трех параллельных опытах. После расчетов массовая доля гуминовых кислот в образце 1 составила $(9,4 \pm 0,2) \%$, в образце 2 $(5,7 \pm 0,1) \%$.



Рисунок 3 – Осадки гуминовых кислот после высушивания

Figure 3 – Precipitates of humic acids after drying

Оставшаяся фракция после осаждения гуминовых кислот в дальнейшем была использована нами для извлечения фульвокислот. Так как фульвокислоты хорошо растворимы в воде, многих кислотах и в некоторых органических растворителях, то для простоты их дальнейшего извлечения нами был подобран наиболее оптимальный, по нашему мнению, органический растворитель – этилацетат. Фульвокислоты извлекали путем экстракции этилацетатом, экстрагирование проводили до прекращения окрашивания растворителя (5×10 мл), далее растворитель отгоняли под вакуумом.

Качественный состав полученных гуминовых и фульвокислот был подтвержден методом ИК-спектроскопии.

ИК-спектры исследуемых образцов регистрировали на спектрометре «Инфралюм ФТ-801» в диапазоне частот $4000\text{--}550\text{ см}^{-1}$, откладывая по оси ординат пропускание, а по оси абсцисс – волновые числа. Для съемки спектров прессовали таблетки в бромиде калия, в соотношении исследуемая кислота : бромид калия 2 : 300.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ИК-спектрах гуминовых кислот (рисунки 4, 6) обнаружены следующие интенсивные полосы поглощения: 3500–3400 см⁻¹, относятся к ОН-группам (фенольные, спиртовые и ОН-группы в карбоксильных группах); 2923 см⁻¹ – свидетельствует о наличии длин-

ных метиленовых цепочек; 2852 см⁻¹ – относится к метильным концевым группам. Полоса поглощения при длине волны 1714 см⁻¹ соответствуют карбоксильным группам (C=O в карбоксильных группах), 1204 см⁻¹ – ОН-группы в карбоксильных группах, 1105 см⁻¹ – ОН-группы углеводов, 1651 см⁻¹ – C=N в имино-группах.

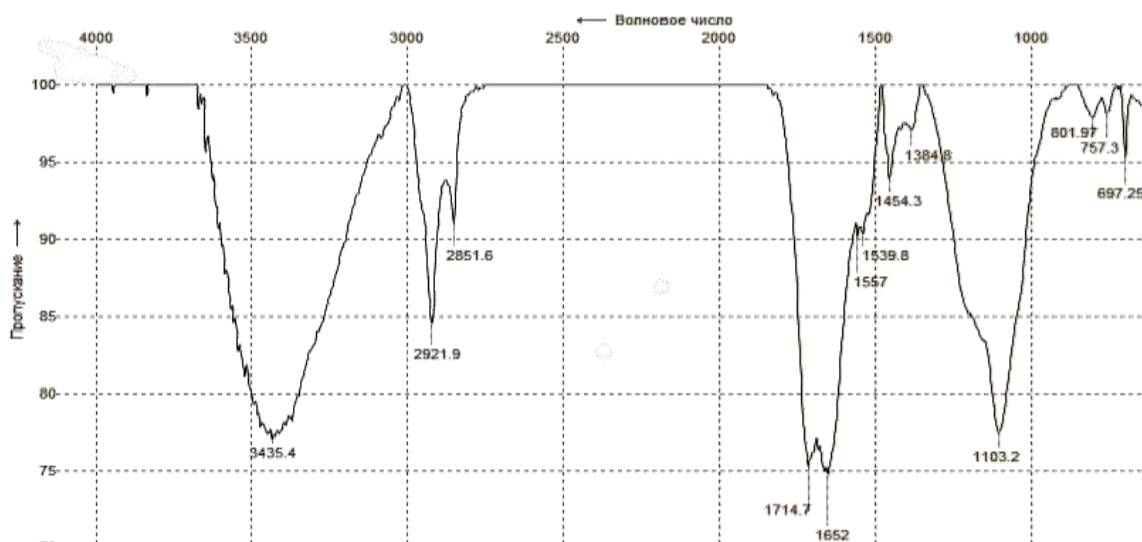


Рисунок 4 – Инфракрасный спектр гуминовых кислот

Figure 4 – Infrared spectrum of humicacids

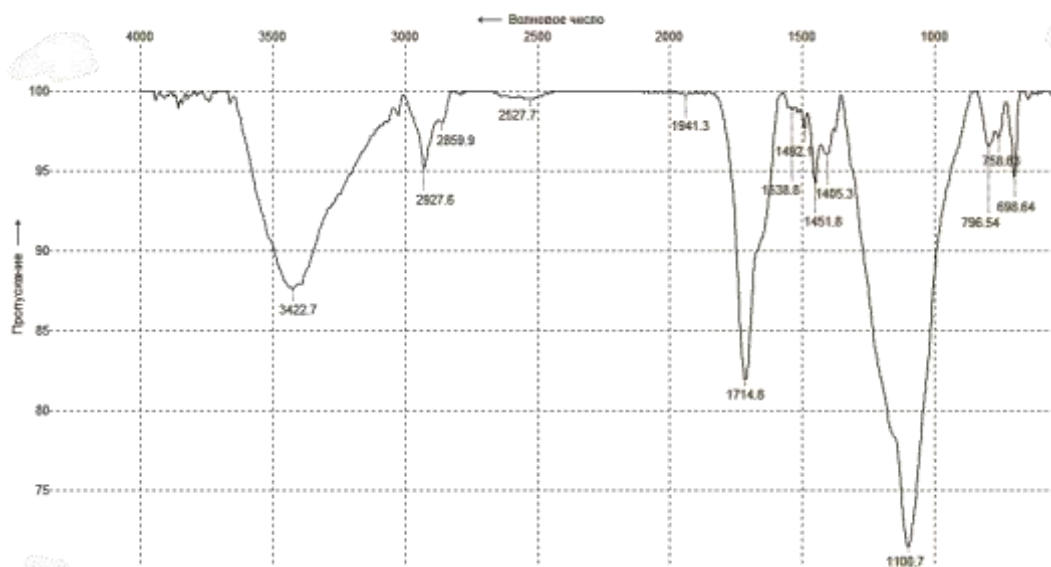


Рисунок 5 – Инфракрасный спектр фульвокислот

Figure 5 – Infrared spectrum of fulvicacids

ИССЛЕДОВАНИЕ ГУМИНОВЫХ И ФУЛЬВОКИСЛОТ МУМИЕ ПО ДАННЫМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

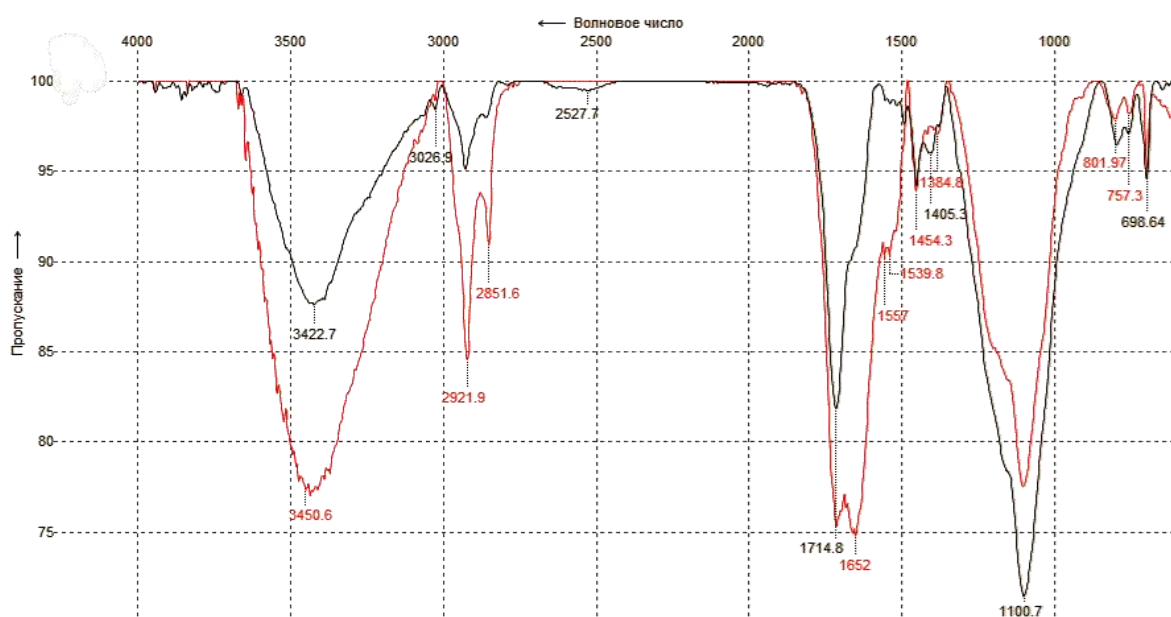


Рисунок 6 – Инфракрасные спектры: гуминовых кислот (красная линия спектра) и фульвокислот (черная линия спектра)

Figure 6 – Infrared spectra: humic acids (red line of the spectrum) and fulvic acids (black line of the spectrum)

В ИК-спектрах фульвокислот (рисунки 5, 6) также имеются широкие и интенсивные полосы поглощения $3500\text{--}3400\text{ см}^{-1}$, обусловленные гидроксильными группами; полоса 1714 см^{-1} вызвана преимущественно карбоксильными группами ($\text{C}=\text{O}$ в COOH), 1452 см^{-1} соответствует метильным и метиленовым группировкам. В ИК-спектрах фульвокислот также присутствуют полосы поглощения с интенсивностью 2928 и 1500 см^{-1} , которые соответствуют CH_2 -, CH_3 -группам и $\text{C}=\text{C}$ (аром.). Сильное поглощение в области 1100 см^{-1} связано с деформационными колебаниями OH -спиртовыми группами.

ВЫВОДЫ

На данном этапе были исследованы образцы мумие разных стран. Экспериментальные данные показали, что количественное содержание гуминовых кислот в мумие монгольского производства оказалось гораздо выше ($9,4 \pm 0,2$) % по сравнению с образцом мумие алтайского производства ($5,7 \pm 0,1$) %.

Из фракции после осаждения гуминовых кислот были получены фульвокислоты путем подбора наиболее оптимального растворителя для их извлечения.

Качественный состав полученных гуминовых и фульвокислот был подтвержден методом ИК-спектроскопии.

Полученные результаты о качественном

составе фульвокислот способствуют для дальнейшей научной работы над методами количественного определения фульвокислот в мумие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черникова С.А., Акиншин С.Н., Шелемей Е.Н. Мумие как вид природных ресурсов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2021. № 10 (52). С. 155–158.
2. Фролова Л.Н., Киселева Т.Л. Применение мумиё в традиционной медицине разных стран: исторический экскурс // Традиционная медицина. 2007. № 2 (9). С. 14–21.
3. Фролова Л.Н., Киселева Т.Л. Биологическая активность мумиё публикация 4: регенеративное действие при переломах костей // Традиционная медицина. 2008. № 2 (13). С. 51–60.
4. Землянский Р.Д., Макаров А.В. Антибактериальные свойства саянского гуминового вещества – «мумиё» // В сборнике : Актуальные проблемы ветеринарной медицины, пищевых и биотехнологий. Материалы Международной научно-практической конференции. Саратов, 2022. С. 11–15.
5. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / под ред. Е.И. Ермакова. СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 2004. 248 с.
6. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М. 1974. 334 с.
7. Василенко И.О. Опыт использования препарата гуминовых кислот в яичном птицеводстве // Основы и перспективы органических биотехнологий. 2020. № 4. С. 3–8.

8. Гуминовые кислоты: их выделение, структура и применение в биологии, химии и медицине / П.П. Пурьгин, И.А. Потапова, Д.В. Воробьев. В книге : актуальные проблемы биологии, химии и медицины. Одесса. 2014. С. 180–196.

9. Хилько С.Л., Ефимова И.В., Смирнова О.В. Антиоксидантные свойства гуминовых кислот из бурого угля // Химия твердого топлива. 2011. № 6. С. 3.

10. Дину М.И. Сравнение комплексообразующих способностей фульвокислот и гуминовых кислот в водной среде с ионами железа и цинка // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 1. С. 65–69.

Информация об авторах

Г. Р. Бухалова – магистрант кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

Л. В. Затонская – кандидат химических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

REFERENCES

1. Chernikova, S.A., Akinshin, S.N., Shelemey, E.N. (2021). Mumiyo as a type of natural resource. *Bulletin of the Volodymyr Dahl Luhansk State University*. 10(52), 155-158. (In Russ.).

2. Frolova, L.N., Kiseleva, T.L. (2007). The use of mumiyo in traditional medicine in different countries: a historical digression. *Traditional medicine*. 2(9), 14-21. (In Russ.).

3. Frolova, L.N., Kiseleva, T.L. (2008). Biological activity of mumiyo publication 4: regenerative effect in bone fractures. *Traditional medicine*. 2(13), 51-60. (In Russ.).

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

4. Zemlyansky, R.D., Makarov, A.V. (2022). Antibacterial properties of the Sayanhumic substance - «mumiyo». *In the collection: Actual problems of veterinary medicine, food and biotechnologies. Materials of the International scientific-practical conference*. Saratov, 11-15. (In Russ.).

5. Popov, A.I. Humic substances: properties, structure, formation / ed. E.I. Ermakov. St. Petersburg : Publishing House of St. Petersburg. university, 2004. 248 p. (In Russ.).

6. Orlov, D.S. Soil humic acids. M. 1974. 334 p. (In Russ.).

7. Vasilenko, I.O. (2020). Experience in using the preparation of humic acids in egg poultry farming. *Fundamentals and prospects of organic biotechnologies*. (4), 3-8. (In Russ.).

8. Humic acids: their isolation, structure and application in biology, chemistry and medicine / P.P. Purygin, I.A. Potapova, D.V. Vorobyov. In the book: actual problems of biology, chemistry and medicine. Odessa. 2014. 180-196. (In Russ.).

9. Khilko, S.L., Efimova, I.V., Smirnova O.V. (2011). Antioxidant properties of humic acids from brown coal. *Solid Fuel Chemistry*. (6), 3. (In Russ.).

10. Dinu, M.I. (2010). Comparison of the complexing abilities of fulvic acids and humic acids in the aquatic environment with iron and zinc ions. *Water resources*. 37(1), 65-69. (In Russ.).

Information about the authors

G.R. Bukhalova - student of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

L.V. Zatonskaya - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.061.34

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.028

 EDN: [EEYMSX](https://elibrary.ru/EEYMSX)

ЭКСТРАГИРОВАНИЕ ИЗ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

Рубцова Лариса Николаевна¹, Сорокин Владислав Валерьевич²,
Касьяненко Елена Федоровна³

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия

¹ larisapns@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1687-1890>

² vladislav.sorokin@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-7262-0941>

³ kasyanenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7858-7743>

Аннотация. В работе исследуются традиционные и инновационные технологии и оборудование, предназначенные для экстрагирования в твердожидкостных системах. Дана сравнительная характеристика процессов и аппаратов, которые используются в настоящее время в различных отраслях промышленности. Наряду с традиционными методами мацерации, перколяции, паровой дистилляции рассматриваются и альтернативные новые технологии: ультразвуковая экстракция (UAE), сверхкритическая флюидная экстракция (SFE), микроволновая экстракция (MAE), ускоренная экстракция растворителем (ASE), твердофазная микроэкстракция (ТФМЭ) и быстрая твердожидкостная динамическая экстракция (RSLDE), выполняемая с использованием экстрактора Naviglio. Метод RSLDE обладает целым рядом преимуществ: простота использования, низкое энергопотребление, высокая скорость процесса экстракции, более высокие выходы, не требует нагрева системы, позволяет извлекать активные ингредиенты и предотвращать их дегградацию, позволяет использовать воду в качестве экстрагента, высокая степень безопасности для человека и окружающей среды (“зеленая” экстракция).

Ключевые слова: экстрагирование, твердожидкостная система, зеленая экстракция, инновационное экстрагирование, принципы Naviglio.

Для цитирования: Рубцова Л. Н., Сорокин В. В., Касьяненко Е. Ф. Экстрагирование из твердых веществ // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 203–209. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.028. EDN: <https://elibrary.ru/EEYMSX>.

Original article

EXTRACTION FROM SOLIDS

Larisa N. Rubtsova¹, Vladislav V. Sorokin², Elena F. Kasyanenko³

^{1,2} Saint Petersburg State University of Chemistry and Pharmacy, Saint Petersburg, Russia

³ Sankt Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russia

¹ larisa.rubtsova@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0003-1687-1890>

² vladislav.sorokin@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-7262-0941>

³ kasyanenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7858-7743>

Abstract. The paper investigates traditional and innovative technologies and equipment designed for extraction in solid-liquid systems. Comparative characteristics of processes and devices that are currently used in various industries are given. Along with traditional methods of maceration, percolation, steam distillation, alternative new technologies are also being considered: ultrasonic extraction (UAE), supercritical fluid extraction (SFE), microwave extraction (MAE), accelerated solvent extraction (ASE), solid-phase mi-

© Рубцова Л. Н., Сорокин В. В., Касьяненко Е. Ф., 2023

croextraction (TFME) and fast solid-liquid dynamic extraction (RSLDE), performed using Naviglio extractor. The RSLDE method has a number of advantages: ease of use, low energy consumption, high speed of the extraction process, higher yields, does not require heating of the system, allows you to extract active ingredients and prevent their degradation, allows you to use water as an extractant, a high degree of safety for humans and the environment ("green" extraction).

Keywords: *extraction, solid-liquid system, green extraction, innovative extraction, Naviglio's principle.*

For citation: Rubtsova, L.N., Sorokin, V.V. & Kasyanenko, E.F. (2023). Extraction from solids. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 203-209. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.028. <https://elibrary.ru/EEYMSX>.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних лет в секторе технологий производства фармацевтической и других видов продукции экстракционным способом произошло много важных изменений. Эти перемены связаны с промышленным производством, качеством продукции и, в первую очередь, с безопасностью человека и окружающей среды. Прежде всего, интерес научного сообщества был направлен на изучение устойчивых процессов валоризации экстрактов путем использования инновационных технологий, представляющих собой действенную альтернативу традиционным методам. При разработке новых технологий и аппаратов учитываются такие характеристики, как экономия времени и энергии, повышение выхода и качества продукта, образование меньшего количества побочных веществ. Поэтому с развитием принципов, основанных на предотвращении загрязнения, на более низком риске для здоровья человека и на малом воздействии на окружающую среду, были внедрены новые системы для сокращения времени экстракции и потребления растворителей, повышения эффективности и производительности экстрактов, для повышения селективности процессов. В этой связи были поставлены следующие цели и задачи. Дать сравнительную характеристику традиционных и инновационных технологий и оборудования, предназначенных для экстрагирования из твердых веществ. На этой базе дать оценку и выделить наиболее перспективные технологии в плане производительности, универсальности, рентабельности и безопасности для человека и окружающей среды, отвечающие последним современным требованиям.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время экстракция в твердожидкостной системе широко распространена в таких отраслях, как фармацевтическая, химическая, рудодобывающая (выщелачивание солей металлов из руд), косметическая,

пищевая и др. для получения различных ингредиентов. Методы твердожидкостной экстракции лежат в основе многих аналитических процедур для подготовки проб и описаны в официальных методах анализа [1]. С другой стороны, они применяются для производства небольших количеств домашних экстрактов, таких как алкогольные напитки и травяные чаи. Твердожидкостная экстракция также применяется в промышленном производстве. На самом деле во многих промышленных процессах начальная фаза приготовления продукта требует применения твердожидкостной экстракции для выделения экстрагируемого материала [2, 3]. Важным примером являются лекарственные растения, из которых получают активные вещества с фармакологическими свойствами [4]. Родственными областями являются фитотерапевтическая, косметическая и парфюмерная, которые являются самыми древними областями применения. В других отраслях промышленности, таких как производство напитков, твердожидкостная экстракция, используется для получения спиртовых экстрактов из плодов, фруктовой кожуры, цветов, листьев и т.д., которые затем смешиваются с водой и сахаром для получения готового продукта.

Обычные традиционные экстракции применяются уже много лет. Это мацерация, перколяция, их модификации и простой метод отжима [5, 6, 7]. Данные методы доступны, дешевы и часто применяются, хотя и имеют много недостатков. Мацерация не всегда применима. Процесс требует длительного времени. Например, растительное сырье не может долго мацерироваться из-за процессов гниения. Перколяция недостаточно эффективна. Метод быстрый, предназначен для извлечения больших объемов, но твердая матрица исчерпывается не полностью [8, 9].

Для производства эфирных масел можно прибегнуть к паровой дистилляции [10, 11]. Этот метод твердожидкостной экстракции отличается тем, что он требует переноса летучих соединений через поток пара. Поскольку

выделенный продукт представляет собой эфирное масло, его можно рассматривать как метод твердожидкостной экстракции. В любом случае экстракционная система подвергается сильному нагреву, поэтому термолабильные соединения претерпевают превращения.

Традиционные методы основаны на двух фундаментальных принципах: диффузии или осмосе. На основании этих методов можно делать некоторые общие прогнозы по отношению к экстрактивной системе. Можно предположить примерное время извлечения и количество экстракта по отношению к общей твердой матрице. Согласно теории, для достижения наилучших результатов экстракции нужно оптимизировать три переменные: размер гранулы твердого тела, температуру и сродство твердых частиц к растворителю. При уменьшении размеров твердого тела увеличивается выход экстракта, т.к. расширяется площадь поверхности контакта твердого тела с жидкостью. Возрастание температуры системы сокращает время экстракции из-за нарастания диффузионных явлений (закон Фика). Увеличение сродства экстракционной жидкости к экстрагируемым соединениям повышает время экстракции. Однако следует учитывать, что основные принципы, на которых базируются перечисленные выше методы, не оказывают существенного активного влияния на такие характеристики, как время экстракции, выход веществ и эффективность. Фактически после установления параметров система достигает состояния равновесия, которое может измениться только путем изменения температуры или добавления другой экстракционной жидкости [12, 13, 14].

Итак, можно выделить основные недостатки традиционных методов: потребление больших объемов не всегда дешевых растворителей, высокая скорость их испарения, длительное время экстракции и разложение термолабильных соединений.

Для преодоления всех этих ограничений были внедрены новые и перспективные методы твердожидкостной экстракции, которые определяются как нетрадиционные или инновационные. Из них можно выделить следующие технологии: ультразвуковая экстракция (UAE), сверхкритическая флюидная экстракция (SFE), микроволновая экстракция (MAE), ускоренная экстракция растворителем (ASE), твердофазная микроэкстракция (ТФМЭ), ферментативная экстракция и быстрая твердожидкостная динамическая экстракция (RSLDE), выполняемая с использованием экстрактора Naviglio.

Ультразвуковая экстракция (UAE) может

быть хорошей заменой прессованию. UAE позволяет извлекать биоактивные компоненты за очень короткое время при низкой температуре с меньшими затратами энергии и растворителя. Ультразвуковые волны вызывают разрушение твердых веществ (например, растительной ткани) за счет физических сил, возникающих при акустической кавитации, и способствуют высвобождению экстрагируемых компонентов в растворителе за очень короткое время за счет усиления массопереноса. UAE как метод нетермической экстракции лучше приспособлен для сохранения функциональности биологически активных соединений. Следует учитывать, что при использовании UAE твердая матрица полностью измельчается и получается смесь, которую очень трудно разделить на составляющие. Помимо прочего, использование энергии ультразвука более 20 кГц может оказывать влияние на активные фитохимические вещества и привести к образованию свободных радикалов. Поэтому переменные, связанные с UAE, такие как частота, мощность, рабочий цикл, температура, время, тип растворителя, соотношение твердое вещество–жидкость, должны быть проанализированы и оптимизированы для каждого продукта. Они нуждаются в точном контроле для оптимальной экстракции. Однако благодаря своей скорости, экономическому преимуществу и относительно низкой стоимости технологии UAE являются одним из методов, используемых в промышленности для извлечения биологически активных соединений. Ультразвук успешно используется для извлечения полифенолов, каротиноидов, ароматов, полисахаридов из растительных матриц (как целых растений, так и побочных продуктов) [15, 16, 17].

Альтернативным инновационным методом также можно назвать метод сверхкритической флюидной экстракции (SFE) [18]. Сверхкритическая жидкость (SCF), которая используется в качестве растворителя, извлекает и способствует разделению экстрагируемых веществ. И температура, и давление сверхкритического флюида выше критической точки. Сверхкритическая плотность SCF подобна жидкостям, и многие вещества имеют хорошую растворимость в нем. С другой стороны, его диффузионная способность находится между газом и жидкостью, сохраняя передаточные свойства газа. Такие свойства позволяют сверхкритическим жидкостям проникать глубже и быстрее в твердые матрицы. В качестве SCF чаще всего используют углекислый газ. В сверхкритической фазе диоксид углерода приобретает характеристики

неполярного растворителя, и сравним с жидким *n*-гексаном. Таким образом, с помощью этого метода можно извлекать неполярные соединения из твердых матриц. Преимущество этого метода заключается в том, что в конце экстракции растворитель (CO_2) удаляется в виде газа, что позволяет извлекать концентрированные экстрагированные соединения с очень низким уровнем загрязнения окружающей среды. Сверхкритическая флюидная экстракция получила название “зеленой” экстракции. Этот метод находит применение на промышленном уровне, например, при извлечении масла из семян кофеина из кофе, никотина из табака и т. д. [19, 20]. Эта технология остается еще очень дорогой и недостаточно универсальной из-за сложности изменения полярности углекислого газа и интерференции воды, содержащейся в твердых телах.

Другим инновационным методом является ускоренная экстракция растворителем (ASE). Она предназначена для увеличения выхода экстракции и сокращения времени процесса [21]. Этот метод основан на увеличении диффузии, поскольку можно извлекать твердые вещества с помощью жидкостей, работающих выше температуры их кипения, и поддерживать их в жидком состоянии за счет увеличения давления. Экстрагируемый материал помещают в цилиндрический стальной контейнер и вводят экстрагирующий растворитель. Температуру системы поднимают выше точки кипения экстрагируемого соединения. Растворитель поддерживается в жидком состоянии благодаря одновременному повышению давления. Флакон герметичен и выдерживает высокое давление до 200 атмосфер. После короткого периода контакта твердая матрица полностью отдает экстрагируемые вещества. Недостаток этой системы заключается в невозможности экстрагирования термически нестабильных соединений [22]. ASE может быть применен во многих отраслях промышленности, в том числе и в фармацевтической: для изготовления масел и органических кислот, витаминов и антибиотиков, моющих средств, устройств и упаковок для хранения лекарств. Метод имеет хороший потенциал для извлечения летучих и полунлетучих соединений. ASE используют для выделения органических соединений из твердых образцов для дальнейшего хроматографического анализа [23].

Микроволновая экстракция MAE в настоящее время широко используется для извлечения природных продуктов из растительного сырья и привлекает все больший

интерес [24]. Действительно, этот метод позволяет быстро извлекать растворенные вещества из твердых матриц с эффективностью экстракции, сравнимой с эффективностью классических методов, но с преимуществом уменьшения количества растворителя, отходов растворителя, выделения растворителя в окружающую среду и воздействия на человека, а также отказ от использования SO_2 в системе. MAE позволяет полностью контролировать параметры экстракции (время, мощность и температуру). С точки зрения современного контекста “зеленой” химии, MAE – это экологический и безопасный метод.

Твердофазная микроэкстракция SPME была открыта два десятилетия назад. SPME – это метод отбора проб, основанный на поглощении. С помощью SPME анализируемые вещества поглощаются из жидкого или газообразного образца на покрытое абсорбентом плавленное кремнеземное волокно, которое является частью иглы шприца, в течение фиксированного времени. Затем волокно вводится непосредственно в инъекционный порт GC для термической десорбции. Это простой, не содержащий растворителей и надежный метод микроэкстракции, который продолжает совершенствоваться отбор проб и пробоподготовку. Небольшие габариты устройства обеспечивают удобство отбора проб в любых условиях. SPME обладает значительными преимуществами по сравнению с современными методами. Он значительно быстрее, не требует биологической обработки проб, выявляет дополнительные параметры (свободные концентрации, константы связывания). Анализ экстрагируемых соединений может быть выполнен с помощью высокоспецифичных приборов, таких как GC–MS или LC–MS/MS. SPME успешно применяется в широком спектре аналитических исследований, связанных с живыми организмами с минимальным ущербом. Разработка биосовместимых фаз экстракции для SPME привела к значительному прогрессу в биоанализе: все этапы подготовки образцов могут быть объединены в один, даже для сложных биологических образцов, таких как цельная кровь или плазма. Кроме того, биосовместимые устройства позволяют непосредственно извлекать целевые анализы из текущей крови и мягких тканей живых организмов. Вторым важным вкладом SPME в эту область является способность улавливать стабильные и/или короткоживущие виды и метаболиты с высокой скоростью оборота (например, энергетические метаболиты), которые не наблюдаются другими методами. Предварительные исследова-

дования показывают, что *in vivo* SPME особенно эффективен для отбора проб нуклеозидов, каротинов и глутатиона. Это делает предложенную технологию особенно интересной с точки зрения изучения реактивных метаболитов лекарственных средств и противовирусных нуклеозидных аналогов, используемых для предотвращения вирусной репликации в инфицированных клетках, для целенаправленных и для глобальных исследований метаболизма. В будущем можно ожидать повышения интереса к этому виду исследований для микроорганизмов, растений, животных и человека [25, 26].

Подробнее рассмотрим принцип действия инновационной быстрой твердожидкостной динамической экстракции (RSLDE), выполняемой с использованием экстрактора Naviglio, так как информации по ее использованию в отечественной литературе нет. Патент на прибор под названием экстрактор Навильо был выпущен в 2000 году. По сравнению с традиционными технологиями, этот метод способен сократить время экстракции, приводит к более высоким выходам, не требует нагрева системы, позволяет извлекать активные ингредиенты и предотвращать их деградацию. Он основан на новом принципе твердожидкостной экстракции, названном принципом Naviglio. При других технологиях процедура экстракции обычно происходит в одном растворе (одностадийный процесс). Трудно установить две или более стадии экстракции из-за повышения объема экстрагента, а также увеличения времени выполнения. Многостадийный процесс проводится при помощи противотока извлекающего вещества или при использовании комбинации экстрагентов. Часто такие технологии называют экстрактивными многоступенчатыми. Только экстрактор Сокслета ограничивает объем растворителя, потому что он использует дистилляцию летучего растворителя для возобновления чистоты процесса [27].

RSLDE основан на другом принципе. Экстракция происходит благодаря отрицательному градиенту давления между внутренним материалом и внешней стороной твердой матрицы (высокое давление внутри и низкое давление снаружи; принцип Навильо). Когда градиент давления исчезает, экстрагирующая жидкость очень быстро вытекает из твердого тела и уносит все вещества, химически не связанные с основной структурой твердого тела. Это означает, что в данном случае экстракция является “активным” процессом, поскольку градиент давления вытесняет молекулы, в то время как методы, осно-

ванные на диффузии и осмосе, являются “пассивными” процессами, поскольку молекулы не вытесняются из матрицы. Согласно этому принципу, процесс твердожидкостной экстракции не зависит от сродства соединения, подлежащего извлечению из твердой матрицы к экстрагирующему растворителю. Вещество, по сути, извлекается разностью давлений между жидкостью внутри матрицы и жидкостью снаружи. Они извлекаются из твердого вещества с эффектом всасывания и могут быть извлечены в растворителях с противоположной или различной полярностью. Поэтому степень извлечения тесно коррелирует с разницей давления, сгенерированной внутри и снаружи твердой матрицы, и с особенностями твердой матрицы. В этом заключается инновационный экстрактивный принцип Naviglio. Метод позволяет использовать воду в качестве экстракционного растворителя, что не представлялось возможным при применении традиционных методов, таких как мацерация и перколяция. RSLDE может работать при температурах ниже комнатной. Простота использования, низкое энергопотребление, высокая скорость процесса экстракции RSLDE вкупе с перечисленными выше достоинствами позволяет использовать эту технологию во многих отраслях: в производстве напитков, в пищевой, фармацевтической, парфюмерной, химической и пр. промышленности [28, 29, 30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор методов и технологий, связанных с процессом экстракции на основе твердожидкостного контакта, не прост и во многом зависит от структурной сложности и состава твердой матрицы. Поэтому сложно найти универсальные методы, подходящие для каждого типа твердожидкостной экстракции. При выборе наиболее подходящих методов фундаментальное значение приобретает знание химических свойств экстрагируемых соединений и их поведение в присутствии различных растворителей. На сегодняшний день модели, которые могли бы предсказать время и выход экстракции, начиная с точных условий (тип твердого вещества, растворитель, температура и т. д.), отсутствуют. Наряду с вышеупомянутыми классическими техниками стали использоваться более сложные и эффективные, основанные на инновационных принципах экстракции. Среди них: экстракция сверхкритическими жидкостями (SFE), ультразвуковая экстракция (UAE), микроволновая экстракция (MAE), ускоренная экстракция растворителем (ASE)

и, наконец, быстрая твердожидкостная динамическая экстракция (RSLDE), использующая экстрактор Naviglio.

Из тщательного сравнения основных характеристик каждой из твердожидкостных экстракций, описанных в обзоре, можно утверждать, что в настоящее время ни один метод не обеспечивает одновременно всех преимуществ, предлагаемых быстрой твердожидкостной динамической экстракцией (RSLDE), использующей экстрактор Naviglio.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод экстракции // Химик: электронный научный журнал. 2020 [Электронный ресурс]. URL : <https://ximuk.ru/toxicchem/34.html> (дата обращения 26.03.2023).

2. Ливен И. Полимерные добавки. Подготовка образцов для анализа. Твердофазная экстракция. Часть 1 // Nomotech: электронный научный журнал. 22 сентября 2020 [Электронный ресурс]. URL : https://nomitech.ru/articles-and-blog/polimernye_dobavki_podgotovka_obraztsov_dlya_analiza_tverdogfaznaya_ekstraktsiya_chast_1/ (дата обращения 23.03.2023).

3. Твердофазная экстракция // Аквилон: электронный научный журнал. [Электронный ресурс]. URL: <https://prochrom.ru/ru/?idp=SPE> (дата обращения 26.03.2023).

4. Горбунова Е.А., Басевич А.В. Обоснование выбора метода получения извлечений из травы душицы обыкновенной, обогащенных флавоноидами. Сборник материалов международной научно-практической конференции «Современное состояние фармацевтической отрасли: проблемы и перспективы». Ташкент, 29 октября 2021. 2021 С. 259–260.

5. Kuznetsov A., Basevich A. Study of the qualitative composition of the amount of oregano herb flavonoids BY TLC. Журнал : Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. Т. 17. 2019. 35 с.

6. Цебрено К.Н. Исследование техники для экстракции маслянистого материала способом непрерывной многоступенчатой перколяции. В сборнике: Актуальные вопросы современного социально-экономического развития России: проблемы теории и практики. Сборник научных трудов Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. 2019. С. 625–634.

7. Методы экстрагирования, применяемые на фармацевтических производствах // MedInfo.Social: электронный научный журнал. [Электронный ресурс]. URL : https://medinfo.social/farmakologiya_874_876/metodyi-ekstragirovaniya-primenyaemye-50156.html (дата обращения 26.03.2023).

8. Кривова Л.П., Волкова А.С. Использование метода перколяции для экстракции ароматических компонентов из растительного сырья (разработка рецептуры алкогольного напитка). В сборнике : Образование, наука и технологии: проблемы и перспективы: сборник научных трудов по материалам II

Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. А.В. Туголукова. 2019. С. 176–180.

9. Алтарёв С.Н. Способ производства ароматических масляных экстрактов из растительного сырья в процессе вакуумной перколяции. Патент на изобретение RU 2290942 C1, 10.01.2007. Заявка № 2005121823/15 от 11.07.2005.

10. Шляпников В.А., Шляпников М.О. Новый способ паровой дистилляции плодов кориандра. Universum: технические науки. 2016. № 9 (30). С. 24–26.

11. Шляпников В.А., Шляпников М.О., Подлесный А.А. Передвижной аппарат для паровой дистилляции эфиромаслянистого сырья. Патент на полезную модель RU 179171 U1, 03.05.2018. Заявка № 2017124122 от 06.07.2017.

12. Wang L., Weller C.L. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. Trends Food Sci. Technol. 2006, 17, 300–312.

13. Galanakis C.M. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. Trends Food Sci. Technol. 2012, 26, 68–87.

14. Aguilera J.M. Solid-liquid extraction. In Extraction Optimization in Food Engineering; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2003; pp. 51–70.

15. Chemat F., Rombaut N., Sicaire A.G., Meullemiestre A., Fabiano-Tixier A.S., Abert-Vian M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. Ultrason. Sonochem. 2017, 34, 540–560.

16. Kshitiz Kumar, Shivmurti Srivastav, Vijay Singh Sharanagat. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. 2020. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.105325.

17. Алексеева В.А. Получение различных экстрактов с высоким содержанием различных биологически активных веществ перспективными методами экстрагирования. Смоленский медицинский альманах. 2018. № 1. С. 8–9.

18. Дадашев М.Н., Шелков Е.М., Короткий В.М. Термодинамические аспекты сверхкритической флюидной экстракции. Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2009. № 2. С. 64–67.

19. Jesus S.P., Meireles M.A.A. Supercritical fluid extraction: A global perspective of the fundamental concepts of this eco-friendly extraction technique. In Alternative Solvents for Natural Products Extraction; Springer: Berlin, Germany, 2014; pp. 39–72.

20. Khaw K.Y., Parat M.O., Shaw P.N., Falconer J.R. Solvent supercritical fluid technologies to extract bioactive compounds from natural sources: A review. Molecules. 2017, 22, 1186.

21. Molino A., Rimauro J., Casella P., Cerbone A., Larocca V., Chianese S., Musmarra D. Extraction of astaxanthin from microalga Haematococcus pluvialis in red phase by using generally recognized as safe solvents and accelerated extraction. J. Biotechnol. 2018, 283, 51–61.

22. Accelerated Solvent Extraction (ASE) – Maximize results and reduce errors in food analysis! Available at: <https://www.analytica-world.com/en/products/>

127465/accelerated-solvent-extraction-ase-dionex.html [Accessed 01 March, 2021].

23. He Q., Du B., Xu B. Extraction optimization of phenolics and antioxidants from black goji berry by accelerated solvent extractor using response surface methodology. *Appl. Sci.* 2018, 8, 1905.

24. Ekezie F.G.C., Sun D.W., Cheng J.H. Acceleration of microwave-assisted extraction processes of food components by integrating technologies and applying emerging solvents: A review of latest developments. *Trends Food Sci. Technol.* 2017, 67, 160–172.

25. Твердофазная экстракция (ТФЭ) Solid Phase Extraction (SPE) // Лабораторное и аналитическое оборудование: электронный научный журнал. [Электронный ресурс]. URL : http://www.rts-engineering.ru/Med/Gilson/EquipHromat/lbGI_ASPEC_SPE.html (дата обращения 23.03.2023).

26. Пробоподготовка и Экстракция Dionex // Биоаналит: электронный научный журнал. 2020 [Электронный ресурс]. URL : <http://www.bioanalyte.ru/node/472> (дата обращения 23.03.2023).

27. Naviglio D. Naviglio's principle and presentation of an innovative solid-liquid extraction technology: Extractor Naviglio®. *Anal. Lett.* 2003, 36, 1647–1659.

28. Daniele Naviglio, Pierpaolo Scarano, Martina Ciaravolo, Monica Gallo. Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE): A Powerful and Greener Alternative to the Latest Solid-Liquid Extraction Techniques. *Foods* 2019, 8, 245; DOI:10.3390/foods8070245.

29. Scarano Pierpaolo & Naviglio Daniele & Prigioniero Antonello & Tartaglia Maria & Postiglione Alessia & Sciarrillo Rosaria & Guarino Carmine. (2020). Sustainability: Obtaining Natural Dyes from Waste Matrices Using the Prickly Pear Peels of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Agronomy*. 10. 528. 10.3390/agronomy10040528.

30. Naviglio D., Pizzolongo F., Romano R., Ferrara L., Naviglio B., Santini A. An innovative solid-liquid extraction technology: Use of the Naviglio Extractor for the production of lemon liquor. *Afr. J. Food Sci.* 2007, 1,

42–50.

Информация об авторах:

Л. Н. Рубцова – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.

В. В. Сорокин – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.

Е. Ф. Касьяненко – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры фармакологии, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины.

Information about the authors

L.N. Rubtsova - Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of "Processes and Applications of Chemical Technology" of St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.

V.V. Sorokin - Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of "Processes and Applications of Chemical Technology" of St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.

E.F. Kasyanenko - PhD, Candidate of veterinary sciences, Associate Professor of the Department of Pharmacology St. Petersburg State University of Veterinary Medicine.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 678.057.74

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.029



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Александр Павлович Лукьяненко ¹, Владимир Александрович Сомин ²,
Лариса Федоровна Комарова ³

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

¹ ttertools@mail.ru

² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

³ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-57292>

Аннотация. Рассмотрена проблема вторичного использования полимерных отходов, оцениваются существующие технологии их переработки, обеспечивающие минимизацию воздействия на окружающую среду. Приводятся результаты исследований по влиянию инертных добавок на свойства полимерных изделий из полиолефинов методом литья под давлением. Определено, что содержание меловой добавки выше 70 % приводит к потере прочности изделия, непроливаемости на станке и плохому съему с пресс-формы. Вместе с тем литьевой режим станка при изменении рецептуры остается в целом без резких изменений, а качество изделий соответствует эталонному образцу.

Ключевые слова: полимерные отходы, ресурсосбережение, пластиковые изделия, низкоуглеродные материалы.

Для цитирования: Лукьяненко А. П., Сомин В. А., Комарова Л. Ф. Совершенствование технологии литья полимерных изделий под давлением // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 209–213. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.025. EDN: <https://elibrary.ru/SLEVIO>.

Original article

IMPROVEMENT OF POLYMER CASTING TECHNOLOGY PRODUCTS UNDER PRESSURE

Alexander P. Lukyanenko ¹, Vladimir A. Somin ², Larisa F. Komarova ³

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

¹ ttertools@mail.ru

² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

³ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-57292>

Abstract. The problem of the secondary use of polymer waste is considered, the existing technologies of their processing are evaluated, ensuring the minimization of the impact on the environment. The results of studies on the effect of inert additives on the properties of polymer products made of polyolefins by injection molding are presented. It was determined that the content of the chalk additive above 70% leads to a loss of the strength of the product, non-spillability on the machine and poor removal from the mold. At the same time, the injection molding of the machine remains generally unchanged when the formulation changes, and the quality of the products corresponds to the reference sample.

Keywords: polymer waste, resource conservation, plastic products, low-carbon materials.

For citation: Lukyanenko, A.P., Somin, V.A. & Komarova, L.F. (2023). Improvement of polymer casting technology products under pressure. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 209-213. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.029. <https://elibrary.ru/SLEVIO>.

© Лукьяненко А. П., Сомин В. А., Комарова Л. Ф., 2023

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно развивается направление использования вторичного сырья, в том числе полимерного. Это обусловлено широкой доступностью полимерных материалов, изделия из которых дешевы, просты в изготовлении, и им можно придать практически любую форму: листы, пленки, нити. Кроме того, они характеризуются высокой химической стойкостью к кислотам и щелочам, не пропускают воду, устойчивы к коррозии, имеют низкую тепло- и электропроводность.

Самыми распространенными полимерами являются поливинилхлорид (ПВХ), полиэтиленрефталат (ПЭТ), полипропилен (ПП), поликарбонат (ПК), полистирол (ПС), полиэтилен низкого давления (ПЭНД), полиэтилен высокого давления (ПЭВД), полибутилентерефталат (ПБТ); полиамид (ПА). В настоящее время база синтетических полимерных материалов насчитывает до 100 тысяч наименований [1].

Многообразие полимеров обуславливает аналогичный спектр отходов, образующихся в процессе их изготовления и использования. Поступая в окружающую среду, они вызывают неблагоприятные последствия в виде засорения территорий, выделения токсичных компонентов при возгорании и накоплении продуктов частичной деструкции в живые организмы (микропластик).

В этой связи возникает проблема переработки и вторичного использования образующихся отходов.

В настоящее время широко используются методы механической и химической переработки полимерных отходов.

Способ переработки пластиковых отходов определяется исходя из целевого назначения конечного изделия и физико-химических, технологических и механических свойств утилизируемого изделия. Однородные отходы чаще всего перерабатываются на месте их образования с предварительным измельчением и грануляцией.

Механический метод обеспечивает вторичное использование материалов с учетом некоторых потерь в их свойствах. Он может быть реализован непосредственно в месте накопления отходов и, как правило, не требует привлечения значительных ресурсов.

При использовании химической переработки происходит преобразование материалов в мономеры, из которых получается новое полимерное сырье, или топливо. Однако этот метод требует привлечения значительных ресурсов и специального оборудования.

Процесс переработки отходов во вторич-

ные гранулы включает в себя при необходимости очистку отходов на моющей линии от внешних загрязнений, сортировку на сепарационных аппаратах, измельчение дробилкой, переходом дробленого материала в вязкотекучее состояние с дальнейшим охлаждением и грануляцией.

План мероприятий по переработке отходов, образованных на месте производства, включает:

- соблюдение технологических режимов работы оборудования для предотвращения появления брака;
- минимизацию использования разнородных материалов как по химической структуре, так и по цветовому оттенку на одной рабочей единице;
- контроль и сортировку отходов согласно маркам и виду материала, цветовой гамме, по наличию модифицирующих и инертных добавок наполнителей.

Есть примеры успешного внедрения подобных технологий. В частности, авторами [2] выявлено, что при многократной переработке полимеров возможно сохранить их стабильность. Исследуемые материалы подвергались четырем циклам переработки, в ходе которых выяснилось, что физико-механические свойства уменьшаются незначительно по сравнению с исходными характеристиками. В частности, на примере полистирола выявлено, что используемый при переработке растворитель не модифицирует полимер в случае проведения процесса при низкой температуре. Это позволяет сохранить молекулярную цепочку полистирола и получать высококачественный вторичный продукт, который может быть использован при производстве электротехнической, строительной и другой продукции.

В Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова были изучены свойства вторичного полипропилена с добавками из золы уноса и золошлаков Южно-Уральской ГРЭС, вспенивателя ЧХЗ-21 и композитов, состоящих из полимерной матрицы и минерального наполнителя. Выявлено, что наилучшими физико-механическими свойствами обладает композит, полученный с добавкой к вторичному полипропилену 4 % вспенивателя и 25 % шлака. Образец имеет высокую степень водонепроницаемости. Полученный материал можно применять в качестве звукоизоляции на бетонном основании, теплоизоляции, гидроизоляции перегородок, стен и для упаковки изделий, конструкций [3].

Авторами [4] предложен химический метод утилизации одного из самых распростра-

ненных полимеров – полиэтилентерефталата. Отходы предварительно дробили и очищали на ультразвуковой установке, после чего перемешивали с модифицирующими реагентами: полиизобутиленом, фторопластом и дисульфидом молибдена. Полученную смесь сушили в вакуумном шкафу, затем перерабатывали в экструдере с получением готового продукта в виде гранул. Полученный в результате материал обладает низким коэффициентом трения и повышенной износостойкостью, сопоставимыми со свойствами исходных материалов.

Несмотря на многообразие вариантов переработки пластиковых отходов, более рациональным является минимизация их образования, что может быть достигнуто различными способами. В частности, фирма Protec Polymer Processing предложила при проведении литья под давлением использовать раствор Somos Perfoamer, который позволяет вспенивать формы. В результате достигается значительная экономия сырья [5].

Технология литья под давлением широко используется в производстве пластмассовых изделий сложной формы с точным соответствием заданных размеров. Увеличение производства таких материалов приводит к накоплению полимерных отходов, которые образуются на профильных предприятиях в виде литников, обрезков, обломов, брака. Как правило, такие отходы могут использоваться в качестве вторичного сырья почти на 90 %.

Рециклинг позволяет не только снизить негативное воздействие от отходов, но и за счет включения в состав сырья низкоуглеродных материалов сократить углеродный след.

В зависимости от качества исходного сырья гранулы вторичного материала могут подвергаться рециклингу до 4 раз, что связано с термической деструкцией при переработке, в результате которой уменьшается механическая прочность изделий, их проливаемость и потеря заданных производителями физико-химических свойств.

При использовании специальных добавок можно облегчить дальнейшую переработку изделий из пластмассы, придать необходимые физико-химические свойства готовому продукту и снизить усадку изделия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

С целью снижения потребления исходного полимерного сырья в виде гранул при производстве пластмассовых изделий авторами было предложено на одном из предприятий г. Барнаула вводить инертную добавку в виде мела с массовым содержанием от 3 % до

15 % и одновременно произвести замещение части исходного сырья на вторичное, полученное при дроблении бракованных изделий. Норма расхода вторичного материала оставила от 15 % до 70 %. В эксперименте использовалась меловая добавка марки «CALTECH» с содержанием карбоната кальция порядка 80 %.

Испытания проводились на инжекционно-литьевой машине усилием смыкания в 180 тонн, пресс-форма для литья имела шесть контуров охлаждения на четыре гнезда литья.

Схема машины представлена на рисунке 1. Первичные и вторичные гранулы вместе с мелом и концентратом поступают в бункер, оттуда смесь подается непосредственно на термопласт-автомат. Бракованные изделия собираются в емкость 10, из которой поступают в дробилку 5, а из нее – на переплавку в экструдер 8. Расплав полимера охлаждается в ванне с водой 11, при прохождении через которую затвердевает, а затем измельчается и собирается в накопительной таре 12. Вторичный гранулят может быть переработан до 5 раз.

Были определены основные параметры работы литьевой машины при работе с минеральной добавкой: температура на горячеканальном блоке – 240 °С, время отливки изделия – 10,5 с, время охлаждения – 1,5 с.

Был определен предотвращенный выброс углекислого газа при использовании новой рецептуры, который составил 565 м³ в год для одного термопласта-автомата производительностью 400 кг сырья в сутки.

Проведённые мероприятия по настройке режима литья (увеличение дозы загрузки) показало следующее:

- литьевой режим станка при изменении рецептуры остается в целом без резких изменений;

- качество изделий соответствует эталонному образцу;

- испытания на усадку изделия по истечении 24 часов удовлетворительны.

При проведении испытаний было определено, что содержание мела выше 70 % приводит к потере прочности изделия, непроливаемости на станке и плохому съему с пресс-формы.

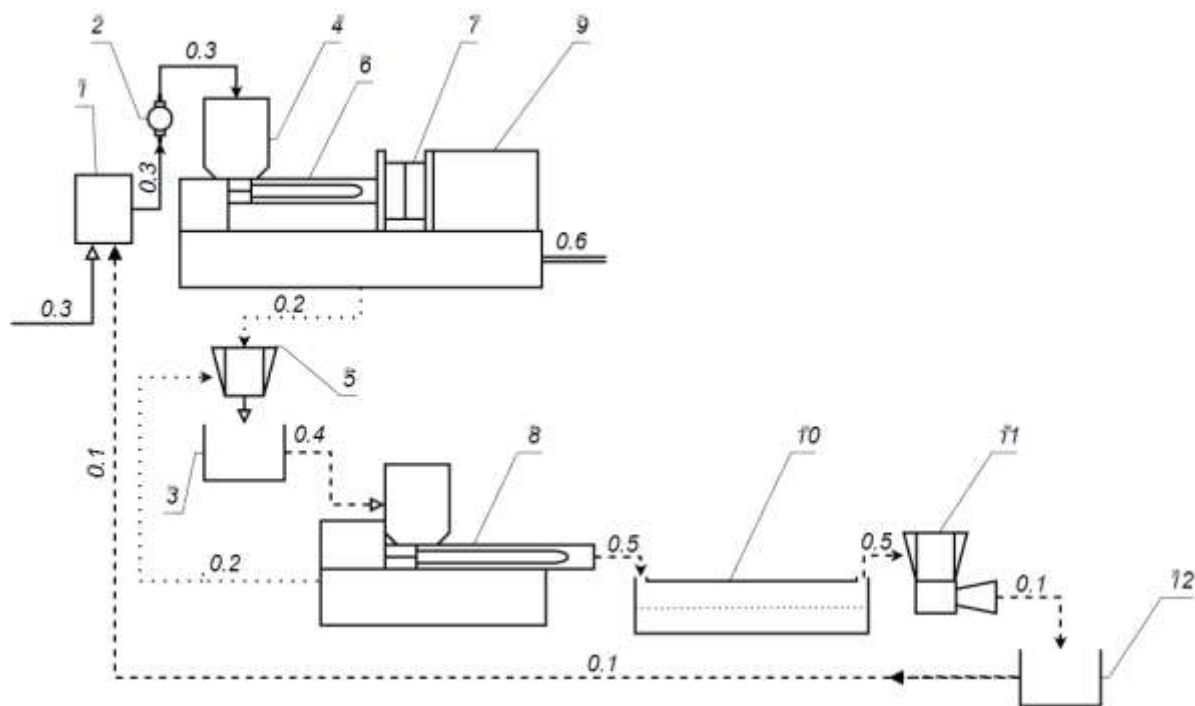
Таким образом, исследования показали, что литьевой режим станка при изменении рецептуры остается в целом без значительных изменений, а качество изделий соответствует эталонному образцу, что позволяет рекомендовать выбранные параметры процесса к выпуску в серийное производство.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены испытания на новых рецептурах и вторичного гранулированного материала с меловой добавкой показали, что подобранные технологические параметры поз-

волят снизить усадку изделий, их себестоимость, а также сократить количество потребляемого исходного сырья в виде первичного пластика и сделать производство более экологичным.



1 – бак хранения; 2 – вакуумный загрузчик; 3 – бак накопления дробленого материала; 4 – бункер-сушилка; 5 – дробилка; 6 – материальный цилиндр; 7 – пресс-форма; 8 – экструдер; 9 – узел смыкания; 10 – ванна с водой; 11 – нож; 12 – бак хранения вторичных гранул

Обозначение потоков:

0.1 – вторичный гранулированный материал; 0.2 – технологический и литьевой брак;
0.3 – основное сырье с добавками; 0.4 – дробленый технологический и литьевой брак;
0.5 – переработанный дробленый материал; 0.6 – готовая продукция

Рисунок 1 – Схема производства пластмассовых изделий на литьевой машине

Figure 1 – Diagram of the production of plastic products on an injection molding machine

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов / Известия Байкальского государственного университета, ИрГТУ, Иркутск, 2018. № 28(4). С. 535–544.

2. Кирш И.А., Овсянников С.А., Безнаева О.В., Банникова О.А., Губанова М.И., Новиков М.Н., Тверитникова И.С. / Перспективы повторной переработки отходов одноразовой упаковки / HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY, Т. 4, № 2, 2022. С. 31–47.

3. Гукова В.А., Ершова О.В. Эксплуатационные характеристики композиционных материалов на основе вторичного полипропилена и техногенных минеральных отходов / Приоритетные научные направления: от теории к практике, № 11, 2014. С. 149–154.

4. Данюшина Г.А., Стрельников В.В., Шишка Н.В. Химическая переработка полиэтилентерефталата / Электронный научный журнал Инженерный вестник Дона, № 2. 9. С. 2017.

5. Абрамов В.В., Чалая Н.М., Абрамушкина О.И. Пластмассы: мировые тенденции производства, применения, переработки и утилизации. По материалам выставок к-2019 и Пластевразия 2019. Пластические массы, № 7–8, 2020. С. 53–60.

Информация об авторах

А. П. Лукьяненко – аспирант АлтГТУ.

В. А. Сомин – д.т.н, зав. кафедрой химической техники инженерной экологии института биотехнологий, пищевой и химической инженерии.

Л. Ф. Комарова – д.х.н., профессор кафедры химической техники и инженерной экологии.

REFERENCES

1. Potapova, E.V. (2018). The problem of plastic waste disposal. *Izvestia of Baikal State University, IrSTU, Irkutsk.* 28(4). 535-544. (In Russ.).

2. Kirsh, I.A., Ovsyannikov, S.A., Beznayeva, O.V., Bannikova, O.A., Gubanova, M.I., Novikov, M.N. & Tveritnikova, I.S. (2022). Prospects repeat-waste recycling of disposable packaging. *Health, Food & Biotechnology*. 4(2), 31-47. (In Russ.).

3. Gukova, V.A. & Ershova, O.V. (2014). Operational characteristics of composite materials based on recycled polypropylene and technogenic mineral waste. *Priority scientific directions: from theory to practice*, (11). 149-154. (In Russ.).

4. Danyushina, G.A., Strelnikov, V.V. & Shishka, N.V. (2017). Chemical processing of polyethylene-reftalate. *Electronic scientific journal Ingenery vestnik. Don*. (2). 9. (In Russ.).

5. Abramov, V.V., Chalaya, N.M., Abramushkina, O.I. (2020). Plastics: global trends in production, application, processing and disposal. Based on

the materials of the exhibitions k-2019 and Plastevrasia. *Plastic Masses*, (7-8). 53-60. (In Russ.).

Information about the authors

A. P. Lukyanenko - PhD student of Polzunov Altai State Technical University.

V.A. Somin - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Chemical Engineering of Environmental Engineering of the Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering of Polzunov Altai State Technical University.

L.F. Komarova - Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemical Engineering and Environmental Engineering of Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Обзорная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК628.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.30



АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВОДООЧИСТКИ

Евгений Николаевич Неверов ¹, Алёна Константиновна Горелкина ²,
Роман Юрьевич Схаплок ³

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

¹ neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

² alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

³ sibur-roma@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9019-5002>

Аннотация. В современном мире промышленность играет ключевую роль в экономическом развитии, однако она также часто становится источником загрязнения окружающей среды и водных ресурсов. Проблема промышленного загрязнения воды стала актуальной и находится под пристальным вниманием исследователей по всему миру. Одним из наиболее эффективных способов борьбы с загрязнением воды является ее очистка. Данная статья посвящена промышленной водоочистке, а именно современным методам и технологиям удаления загрязнений. В статье рассмотрены основные проблемы, связанные с загрязнением промышленных сточных вод, а также описаны наиболее эффективные методы и технологии очистки, используемые в современных промышленных процессах. Представлена информация, позволяющая осуществить всестороннее изучение современных методов и технологий промышленной водоочистки, включая подробный анализ и оценку преимуществ и недостатков каждого из этих методов. Результаты исследования свидетельствуют о том, что существует множество методов и технологий очистки воды от загрязнений, однако не каждый метод является универсальным для всех типов загрязнений. Статья подробно описывает каждый метод, приводит его примеры применения и эффективность в удалении определенных типов загрязнений, также содержит новые данные и практические рекомендации, которые могут быть использованы специалистами в области водоочистки для снижения негативного воздействия на окружающую среду. Информация представляет ценность для всех, кто интересуется проблемами промышленной водоочистки, и включает в себя новые данные и информацию, которые будут полезны для специалистов в этой области.

Ключевые слова: промышленная водоочистка, методы очистки воды, технологии водоочистки, сточные воды, эффективность очистки, устранение загрязнений.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, № соглашения 075-15–2022- 1201 от 30.09.2022 г.

Для цитирования: Неверов Е. Н., Горелкина А. Н., Схаплок Р. Ю. Анализ современных методов и технологий промышленной водоочистки. // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 215–225. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.030. EDN: <https://elibrary.ru/EVMPZM>.

Original article

ANALYSIS OF MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES OF INDUSTRIAL WATER TREATMENT

Evgeny N. Neverov¹, Alyona K. Gorelkina²,
Roman Yu. Skhaplok³

^{1, 2, 3, 4} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹ neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

² alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

³ sibur-roma@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9019-5002>

Abstract. *In the modern world, industry plays a key role in economic development, but it also often becomes a source of pollution of the environment and water resources. The problem of industrial water pollution has become urgent and is under the close attention of researchers around the world. One of the most effective ways to combat water pollution is its purification. This article is devoted to industrial water treatment, namely modern methods and technologies of pollution removal. The article discusses the main problems associated with industrial wastewater pollution, and also describes the most effective methods and technologies of purification used in modern industrial processes. Information is provided that allows for a comprehensive and accurate study of modern methods and technologies of industrial water treatment, including a detailed analysis and assessment of the advantages and disadvantages of each of these methods. Results they indicate that there are many methods and technologies for cleaning water from pollution, but not every method is universal for all types of pollution. The article describes each method in detail, gives examples of its application and effectiveness in removing certain types of pollution, also contains new data and practical recommendations that can be used by specialists in the field of water treatment to reduce the negative impact on the environment. The information is valuable for anyone who is interested in the problems of industrial water treatment, and includes new data and information that will be useful for specialists in this field.*

Keywords: *industrial water purification, water purification methods, water purification technologies, waste water, purification efficiency, pollution elimination.*

Acknowledgements: *The research was carried out within the framework of the comprehensive scientific and technical program of the full innovation cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment and risks to the life of the population", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation Dated 11.05.2022, No. 1144-r, Agreement No. 075-15-2022-1201 dated 30.09.2022.*

For citation: Neverov, E.N., Gorelkina, A.K. & Skhaplok, R.Yu. (2023). Analysis of modern methods and technologies of industrial water treatment. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 215-225. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.030. <https://elibrary.ru/EVMPZM>.

ВВЕДЕНИЕ

В современном промышленном производстве проблема загрязнения сточных вод стала одной из наиболее актуальных и сложных задач. Устранение загрязнений и обеспечение безопасности окружающей среды требует эффективных и надежных методов и технологий водоочистки. Промышленная водоочистка – это процесс удаления загрязнений и примесей из воды, которая используется в промышленности [1].

Цель данной работы – рассмотреть современные методы и технологии удаления загрязнений в промышленной водоочистке.

Для достижения данной цели ставятся следующие задачи:

1. Изучить основные источники загрязнения промышленных сточных вод.

2. Рассмотреть существующие методы и технологии удаления загрязнений в промышленной водоочистке, их преимущества и недостатки.

3. Описать принципы работы современных методов и технологий удаления загрязнений, таких как мембранные технологии, методы флотации, осаждения, окисления и биологической очистки.

4. Изучить примеры успешной реализации современных методов и технологий уда-

ления загрязнений в промышленной водоочистке на промышленных объектах.

5. Провести анализ эффективности и экономической целесообразности применения современных методов и технологий удаления загрязнений в промышленной водоочистке.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Контроль и регулирование процессов очистки сточных вод осуществляются согласно нормативно-правовым актам, в том числе Постановлением Правительства Российской Федерации от 22 мая 2020 г. № 728 "Об утверждении Правил осуществления контроля состава и свойств сточных вод и о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации". Данные нормы определяют нормативные показатели для общих свойств отводимой воды и концентрации загрязняющих веществ. Для соблюдения данных правил предприятия и организации должны производить контроль процессов очистки. Для обеспечения эффективного анализа необходимо использовать специальное оборудование и технологические комплексы [1–2].

В новых правилах контроля состава и свойств сточных вод, утвержденных последним постановлением, отмечается значительное отличие от прежних правил, заключающееся в отсутствии разделения абонентов на категории "с НДС" и "без НДС". Ранее контроль осуществлялся в соответствии со специальной программой, основанной на Правилах № 525, включавшей перечень абонентов, для которых устанавливались нормативы допустимых сбросов в централизованную систему водоотведения. В настоящее время, контролируются состав и свойства сточных вод, сбрасываемых всеми абонентами в канализацию без разделения на категории.

В новых Правилах № 728 не требуются разработка и согласование программы контроля состава и свойств сточных вод для абонентов, сбрасывающих их в систему канализации. Это означает, что для таких абонентов не устанавливаются требования по НДС. Вместо этого обязательными критериями соответствия сточных вод являются фактические показатели состава и свойств, отраженные в Декларации, и/или нормативы состава и свойств сточных вод, определенные Правилами холодного водоснабжения и водоотведения, утвержденными Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 г. № 644.

Таким образом, для абонентов ЦСВ установлены новые требования к параллельному отбору проб и визуальному осмотру. Старые Правила № 525 полностью отменены, а также упразднены правила взимания платы за сброс сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов. В результате произошли значительные изменения в Правилах холодного водоснабжения и водоотведения [3].

Перед изучением методов очистки воды следует рассмотреть определение понятия "сточные воды" и различные виды, которые могут присутствовать.

Виды сточных вод. Стоками (сточными водами) называются воды, которые попадают в природную среду из различных источников, таких как промышленные объекты и населенные пункты, через системы канализации или естественным путем. Характеристики этих растворов зависят от особенностей технологического процесса, в котором они образовались, и, как правило, оказывают негативное воздействие на окружающую среду, с которой они взаимодействуют [4].

На основании их состава сточные воды могут быть разделены на три категории, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Виды сточных вод

Figure 1 – Types of wastewaters

Стоки, образующиеся в производственном процессе, являются одними из самых распространенных типов сточных вод. Они могут поступать в канализационную систему предприятия неравномерно, в зависимости от технологических процессов, с различными уровнями загрязнений. Сточные воды могут быть условно-чистыми, нормативно очищенными или сильно загрязненными в зависимости от того, проходили ли они процедуры очистки и какой уровень загрязнения был изначально присутствующим. В состав промышленных сточных вод могут входить органические и минеральные примеси. В зависимости от типа загрязнения, степени загрязнения и специфики производственного процесса, могут применяться различные методы очистки сточных вод. Эти методы могут включать механические, физико-химические, химические и биологические процессы очистки [4].

Хозяйственно-бытовые сточные воды представляют собой один из типов сточных вод, которые характеризуются относительно равномерным поступлением. Они считаются сильно загрязненными и содержат в своем составе органические вещества растительного и животного происхождения, а также отходы жизнедеятельности и моющие средства. По виду загрязнения хозяйственно-бытовые сточные воды содержат механические и биологические примеси. Для очистки такого типа сточных вод могут использоваться различные методы, включая механическую, биологическую, физико-химическую и другие технологии.

Атмосферные, или ливневые, сточные воды являются неоднородными по своим характеристикам. Их поступление на очистные сооружения неравномерно и зависит от количества атмосферных осадков. Как правило, такие сточные воды имеют условно-чистый состав, но могут содержать различные за-

грязнения, включая минеральные вещества и нефтепродукты. Методы очистки ливневых сточных вод включают в себя механические, физико-механические и химические методы. Механические методы используются для удаления твердых частиц и других механических примесей. Физико-механические методы включают в себя фильтрацию, коагуляцию и флокуляцию, которые позволяют удалить различные химические примеси. Химические методы, такие как окисление, используются для удаления загрязняющих веществ, таких как нефтепродукты [4].

Влияние на количество, состав и концентрацию загрязняющих веществ в воде определяется несколькими факторами, включая тип промышленной деятельности, характер технологических процессов, состав используемого сырья, вид производимой продукции, свойства исходной воды и режимы производственных процессов. Оценка этих факторов может помочь в определении наиболее эффективных методов очистки сточных вод и позволит предприятиям соблюдать нормы по загрязнению и сохранять экологическую устойчивость [5–6].

В сточных водах различных производств концентрация загрязняющих веществ может значительно варьировать, а также различаться внутри предприятия как в рамках различных подразделений, так и внутри отдельных технологических процессов. Диапазон значений концентраций загрязняющих веществ может колебаться в пределах от нескольких миллиграмм до десятков граммов на литр воды.

В промышленной воде формируются сложные многокомпонентные смеси, трудно поддающиеся удалению. В качестве иллюстративного примера можно представить таблицу с составом сбросов с различных предприятий [7].

Таблица 1 – Классификация сточных вод различных предприятий

Table 1 – Classification of wastewater from various enterprises

Металлургическая промышленность	Минеральные примеси, пыль, грязь, песок, окалина, масла, тяжёлые металлы, кислоты
Целлюлозно-бумажная промышленность	Волокна, селен, хлор, диоксид серы, скипидар
Машиностроительная промышленность	Нефтепродукты, фенолы, взвешенные вещества
Нефтеперерабатывающая промышленность	Нефтепродукты, сульфаты, взвешенные вещества, хлориды
Птицефабрики и мясокомбинаты	Азот, фосфор, калий, вирусы и бактерии
Рыбная промышленность	Жиры, растительные масла, белки, минеральные вещества
Нефтедобывающая промышленность	Сероводород, парафины, аммиак, меркаптаны, сульфиды, фенолы, нефтепродукты, минеральные соли, аммонийный азот
Производство пластика	Фенолы, пластификаторы
Горно-обогатительная промышленность	Тяжёлые металлы, кислоты, органические растворители

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

Угольная промышленность	Взвешенные вещества (угольная пыль и частицы сопутствующих пород), нефтепродукты в виде минеральных масел
Текстильная промышленность	Минеральные и органические примеси, реагенты, моющие средства, волокна и взвешенные вещества
Производство консервов	Взвешенные вещества, аммонийный азот хлориды, сульфаты, эфирорастворимые вещества, фосфор
Производство сахара и крахмала	Азот, калий, кальций и фосфор
Молочная промышленность	Молочная сыворотка

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 29.07.2013 г. № 644 были определены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ для сточных вод, выходящих из промышленных предприятий, превышение которых запрещено.

Сброс жидких промышленных отходов запрещен в случае, если они содержат вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации. Помимо этого, запрещено превышение установленных нормативов на объемы сбросов сточных вод и сброс в непредусмотренных для этого местах, а также на прилегающих территориях очистных сооружений. В случае превышения ПДК загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых предприятием, может быть наложен запрет на деятельность продолжительностью до 90 дней [8].

Если предприятие вынуждено сбрасывать загрязненные воды, то для них устанавливаются индивидуальные нормы предельно допустимого сброса (ПДС), которые основаны на качестве воды в источнике сброса и учитывают объемы сброса.

Хозяйственно-бытовые сточные воды возникают в результате деятельности людей в бытовой сфере, включая использование воды для гигиенических целей, мытья посуды, стирки белья, уборки помещений и других бытовых нужд. Также источником таких стоков является канализационный слив. Хозяйственно-бытовые сточные воды содержат различные загрязнители, такие как органические и неорганические вещества, микроорганизмы, взвешенные и растворенные частицы, а также содержат в себе некоторые примеси, такие как масла и жиры, пестициды и другие химические соединения, которые требуют специальной обработки перед их выбросом в окружающую среду. Сброс хозяйственно-бытовых сточных вод без предварительной очистки может привести к загрязнению природных водоемов и почвы, что имеет негативные последствия для здоровья человека и экологии в целом [9].

Хозяйственно-бытовые сточные воды считаются высоко загрязненными, потому что

они содержат большое количество микроорганизмов, более сотни различных видов. Этот тип загрязнения обычно связан с животными или растительными отходами. Из-за наличия патогенных микроорганизмов, которые могут вызвать болезни, хозяйственно-бытовые сточные воды представляют опасность с эпидемиологической точки зрения. В связи с этим, их обезвреживание и удаление контролируются. Для обеспечения безопасности отведения хозяйственно-бытовых сточных вод существуют нормативные показатели, которые контролируются с помощью микробиологических и паразитологических анализов сточных вод.

Существует МУ 2.1.5.800-99 «Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод. Методические указания», который содержит ряд стандартов, направленных на обеспечение безопасности при обработке и отведении хозяйственно-бытовых сточных вод.

Атмосферные или ливневые сточные воды – это воды, которые собираются в результате атмосферных осадков, таких как дождь, снег или град. Они могут содержать загрязнения, которые накапливаются на поверхности земли, такие как нефтепродукты, соли, металлы и другие токсичные вещества [10].

В результате ливневых вод могут образовываться опасные потоки, которые могут нанести серьезный ущерб окружающей среде, а также людям и животным.

Для решения этой проблемы необходимо правильно собирать, очищать и утилизировать атмосферные сточные воды. Обычно они собираются в канализационных ливневых коллекторах и затем направляются в очистные сооружения для удаления загрязнений. Это может включать в себя использование фильтров, аэрации и других методов очистки, которые помогают удалять загрязнения из воды и снижать ее вредное воздействие на окружающую среду.

На загрязненность поверхностного стока влияют факторы [11]:

- интенсивность движения;
- частота уборки улиц;
- уровень благоустройства территории;
- плотность населения;

- вид поверхностного покрова;
- наличие промышленных предприятий;
- количество выбросов в атмосферу.

После изучения характеристик и вариаций сточных вод, рассмотрим используемые методы их очистки.

Как правило, первым этапом очистки сточных вод является механическая очистка, которая осуществляется с целью удаления грубых загрязняющих частиц размером более 0,1 мм. Однако механическая очистка может использоваться как самостоятельный метод, если очищенная вода будет задействована в технологических производственных процес-

сах или не окажет вредного воздействия при отведении в водоемы [12].

Классификация методов механической очистки основана на различных физических свойствах и уровне концентрации загрязняющих частиц. Эти методы направлены на удаление нерастворимых частиц, которые могут осесть или находиться во взвешенном состоянии. Однако механическая очистка относится к примитивным методам и может быть недостаточно эффективной для полной очистки сточных вод от всех загрязнений [12].

Существует классификация методов механической очистки по типам, как представлено на рисунке 2 [12].



Рисунок 2 – Методы механической очистки сточных вод
Figure 2 – Methods of mechanical wastewater treatment

Механическая очистка не всегда способна обеспечить достаточное качество очистки, особенно в случаях с высоким уровнем загрязнения. В таких случаях применяют физико-химические методы очистки, представленные на рисунке 3.

Сорбция – это процесс поглощения одного вещества в поверхностном слое другого вещества, называемого сорбентом. Сорбент может быть твердым, жидким или газообразным, а сорбатом может быть какое угодно вещество, растворенное в газообразной, жидкой или твердой среде. Процесс сорбции происходит за счет притяжения молекул сорбата к поверхности сорбента. Это притяжение может быть вызвано различными механизмами, такими как силы Ван-дер-Ваальса, ионно-дипольное взаимодействие, взаимодействие гидрофобных групп, химические связи и другие. В процессе сорбции сорбат поглощается

на поверхности сорбента и может образовывать слой или пленку на его поверхности. После насыщения сорбента процесс сорбции может прекратиться, что делает его непригодным для дальнейшего использования [13].

Экстракция – метод механической очистки, основанный на растворимости некоторых загрязняющих веществ в жидкости, не смешивающейся со сточными водами. Для проведения экстракции в сточные воды добавляют жидкость, такую как гексан, которая забирает загрязнения. Удаление этой жидкости из сточных вод приводит к снижению загрязненности стоков. Этот метод эффективен для удаления фенолов и жирных кислот [14–15].

Метод аэрации является процессом очистки, в котором происходит окисление загрязняющих веществ с целью перевода летучих компонентов, таких как сероводород и сульфиды, а также поверхностно-активных

веществ (ПАВ), в газообразную фазу для их последующего удаления из сточных вод.

При использовании метода флотации сточные воды очищаются путем насыщения их мельчайшими пузырьками воздуха, которые прикрепляются к загрязняющим частицам, таким как нефтепродукты, жиры и волокна, и вместе с ними поднимаются на поверхность, где их можно удалить.

Коагуляция представляет собой метод очистки сточных вод, основанный на использовании коагулянтов (сернокислого, сернистокислого, хлорного железа, сернокислого алюминия, алюмината натрия), которые приводят к образованию гелеобразных хлопьев гидроокисей железа и алюминия. Эти хлопья связываются с коллоидными взвешенными частицами в сточной воде, которые затем

оседают на дно. Для ускорения процесса коагуляции используются флокулянты, такие как полиакриламид или активированная кремниевая кислота, которые повышают размер хлопьев и делают их более прочными. Для удаления органических примесей можно использовать активный ил, при этом процесс получает название биокоагуляции [16].

Применяется и метод ионного обмена, который основан на взаимодействии ионов в сточной воде с ионами, находящимися на поверхности ионита – твердого материала. Этот процесс позволяет удалить ценные примеси, включая ионы металлов (цинк, хром, медь, свинец, ртуть), фосфорные и мышьяковые соединения, поверхностноактивные вещества и радиоактивные вещества.



Рисунок 3 – Химические и физико-химические методы очистки сточных вод
 Figure 3 – Chemical and physico-chemical methods of wastewater treatment

Эвапорация. В данном методе загрязнения извлекаются путем совместного увлечения их циркулирующим паром. Затем загрязненный пар смешивают с раствором щелочи для дальнейшей изоляции загрязнений. Этот метод используется для удаления летучих веществ.

Кристаллизация является методом очистки, который основывается на образовании кристаллических фаз из растворов, рас-

плавов или газов. Для этого процесса используется изменение температуры загрязненной воды, которая создает перенасыщенные растворы загрязняющих веществ, которые затем переходят в кристаллы [17–18].

Электролиз – это метод очистки воды, основанный на использовании электрохимических процессов. Он предполагает пропускание электрического тока через загрязненную воду,

при котором происходит окисление органических веществ на аноде и восстановление кислот, щелочей и металлов на катоде. В процессе электролиза происходит электролитическое разложение воды на кислород и водород, что также способствует очистке воды. Данный метод эффективен для удаления различных загрязнений, включая тяжелые металлы, органические вещества и радиоактивные вещества. Однако для его использования необходимо высокое напряжение и мощность [19].

Химическая очистка воды заключается в применении реагентов, которые образуют химические соединения с загрязняющими веществами в воде, либо связывают их в нерастворимые комплексы, что делает их безопасными для окружающей среды. Такие процессы происходят быстро и равномерно в объеме жидкости, что делает этот метод очистки воды эффективным. Химическая очистка воды имеет важное значение на предприятиях, где применяется повторное использование воды и необходимо обезвреживать промышленные стоки [20].

Виды химической обработки [21].

Нейтрализация – данный метод заключается в регулировании кислотно-щелочного баланса путем проведения реакции нейтрализации между кислотой и щелочью с образованием солей. Это позволяет оптимизировать процесс, чтобы достичь необходимого уровня кислотности и щелочности в растворе.

Окисление – механизм изменения химической структуры целевых веществ обусловлен действием окислительных свойств хлора и его соединений. В результате окисления токсичные органические вещества претерпевают изменения и превращаются в менее

вредные. Кроме того, происходит уничтожение патогенных микроорганизмов.

Метод восстановления заключается в преобразовании окисленных форм токсичных веществ, в молекулярное состояние, что позволяет их дальнейшую обработку при использовании различных методов очистки воды, таких как коагуляция, флотация, отстаивание и связывание на фильтрах. Это достигается путем введения веществ, способных восстанавливать токсичные элементы в более нейтральные формы, обладающие меньшей токсичностью и более легким удалением из сточных вод.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристики сброса сточных вод в промышленности нефтепереработки.

Нефтесодержащие сточные воды могут стать серьезным источником долгосрочного загрязнения водных систем. Содержащиеся в нефти углеводороды и органические кислоты образуют на поверхности воды пленку, которая мешает газообмену между водой и атмосферой, что может привести к дефициту кислорода и гибели водных организмов [23].

Для регулирования качества и состава сточных вод, происходящих на объектах нефтепереработки, существуют нормативные документы, которые устанавливают предельно допустимые концентрации (ПДК) нефтепродуктов, а также минеральных и органических соединений [23].

Нефтеперерабатывающие предприятия используют комплексную очистку стоков, предусматривающую извлечение не только нефтепродуктов, различные этапы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика методов механической очистки сточных вод

Table 2 – Characteristics of methods of mechanical wastewater treatment

Этап очистки	Группа методов	Удаляемые загрязнения	Методы / оборудование
1	Механическая очистка	Грубодисперсные примеси и нефтешленки	Нефтешелушки, песколовки, гидроциклоны, отстойники дополнительного отстоя
2	Физико-химическая очистка	Коллоидные и растворенные соединения	Флотация, адсорбция, коагуляция и флокуляция
3	Биохимическая очистка	Растворенные органические соединения	Аэротенки и отстойники
4	Обеззараживание	Патогенные организмы	Озонирование, ультрафиолетовое обеззараживание

Характеристики сброса сточных вод на производстве текстильных материалов.

Стоки, производимые на текстильных предприятиях, содержат значительное количество загрязняющих веществ, таких как красители, реагенты, примеси, соединения

тяжелых металлов, СПАВ, волокна и другие вредные органические соединения. Эти загрязняющие вещества могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Поэтому очистка сточных вод от таких загрязнений является важ-

ной задачей для текстильных предприятий [24].

На текстильных предприятиях используются методы механической, химической и биологической очистки для удаления загрязнений из сточных вод. В зависимости от характера производства механическая и химическая очистка могут применяться как для первичной, так и для окончательной очистки перед сбросом в водные объекты.

В процессе очистки применяется флотационная очистка с предварительной химической обработкой сточных вод. Это позволяет выделять 90–95 % взвешенных веществ, снижать биохимическое потребление кислорода (БПК) на 20–50 % и уменьшать цветность воды на 50 % и более [25].

Характеристика сточных вод прачечных предприятий и автомоек.

На прачечных хозяйствах и автомойках образуется большое количество сточных вод, которые содержат ПАВ, включая АПАВ и СПАВ (моющие средства, детергенты, отбеливатели), взвешенные вещества (в том числе эмульгированная грязь), соли жесткости, красители, нефтепродукты, механические частицы и волокна ткани. Концентрация загрязнений в сточных водах превышает в два–три раза уровень загрязнения в городских канализационных стоках. Смешивание сточных вод из прачечных хозяйств и автомоек с городскими канализационными стоками приводит к появлению стойкого пенообразования, что затрудняет работу очистных сооружений и снижает степень очистки хозяйственно-бытовых стоков. Технологии очистки стоков автомоек и прачечных подбираются с учетом специфики загрязняющих веществ [26].

Характеристики процесса очистки сточных вод на животноводческих и птицеводческих фермах.

Сельское хозяйство использует около 30 % водных ресурсов на снабжение фермерских хозяйств, орошение земель и другие нужды. Однако сельскохозяйственные сточные воды содержат опасные химические компоненты в количестве до 10 граммов на литр, а также частицы грунта [27–28].

В состав таких сточных вод входят как неорганические компоненты, так и органические вещества: удобрения, пестициды, фунгициды, гербициды и инсектициды, которые могут быть токсичными и даже летальными. Воды, отводимые животноводческими и птицеводческими комплексами, характеризуются микробным и органическим загрязнением, что требует проведения микробиологического и паразитологического анализа [29–30].

Для обеззараживания таких сточных вод предварительно проводят отстаивание с последующей очисткой. Регулирование процесса очистки воды подразумевает соблюдение МУ 2.1.5.800-99 «Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод. Методические указания».

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует широкий спектр методов для очистки сточных вод, которые доступны предприятиям и организациям. Очистка сточных вод является важным шагом для поддержания экологической устойчивости и соблюдения нормативов по загрязнениям. Выбор наиболее эффективных методов очистки очень важен для предотвращения негативного влияния на окружающую среду [31].

Однако выбор метода очистки не должен ограничиваться только его эффективностью по отношению к конкретным загрязнителям, необходимо учитывать сложность составов стоков, степень достаточности извлечения загрязнителей, возможность рекуперационного извлечения ценных компонентов. Необходимо осуществлять разработку технологии очистки сточных вод с учетом индивидуальных особенностей предприятия, места его расположения и характеристик водного объекта – приемника стоков.

Помимо этого, для обеспечения эффективности и эффективного контроля за процессом очистки необходимо регулярно отслеживать показатели, такие как уровень загрязнения и степень очистки, регулировать процессы очистки в зависимости от нормативных требований и предельно допустимой нагрузки на экосистемы [32–35].

Рациональный подход к очистке позволит минимизировать негативное воздействие на окружающую среду без глубоких изменений производственных процессов и значительных экономических затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайцель А.А. Механические методы очистки сточных вод // Наука, образование и культура. 2019. № 3(37). С. 13–14.
2. Дружинская О.И. Анализ технологий и методов очистки сточных вод текстильного производства // В сборнике: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (инновации-2018). Сборник материалов международной научно-технической конференции. 2018. С. 109–111.
3. Иванов Д.Б., Уралева А.И. Методы очистки нефтесодержащих сточных вод // Наукосфера 2021. № 71. С. 175–180.
4. Роствинская В.С. Изучение методов

очистки сточных вод // Трибуна ученого. 2020. № 7. С. 78–84.

5. Постановление Правительства РФ от 29 июля 2013 г. № 644 "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями) // СПС «Гарант».

6. Карпухин М.М. "Сточные воды предприятия: как их очищают" // MSULab. URL : <https://www.msulab.ru/knowledge/water/stochnye-vody-predpriyatiya/> (дата обращения: 26.03.2023).

7. Бузин И.С. "Современные методы очистки сточных вод" // MSULab. URL : <https://www.msulab.ru/knowledge/water/sovremennye-metody-ochistki-stochnykh-vod/> (дата обращения: 26.03.2023).

8. Методы очистки сточных вод, виды очистных сооружений и инновации в области очистки сточных вод / В.Е. Дудоров, Д.Н. Хисматулина, Э.Р. Исхакова // Наука среди нас. 2019. № 4(20). С. 43–48. EDN PREGZQ.

9. Очистка хозяйственно-бытовых сточных вод на компактных установках / Ф.А. Афанасьева, А.П. Иванов, А.Е. Ловцов // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 11. С. 34–39.

10. Федотова Ю.В., Спицын А.А. Очистка сточных вод лесохимических производств // Евразийский союз ученых. 2019. № 12–5(69). С. 46–51. EDN EAOORJ.

11. Когановский А.М., Кульский Л.А., Сотникова Е.В. Очистка промышленных сточных вод / Под ред. В.Л. Шмарук. М. : Техника, 1974. С. 257.

12. Очистка природных и сточных вод = Water and wastewater treatment : учеб. пособие : в 2 ч : Watertreatment. Treatment of drinking and service water : учеб. пособие для магистерской программы "Комплексное использование водных ресурсов" / В.И. Аксенов ; Аксенов В.И., Мигалатий Е.В., Никифоров А.Ф. Тамбов : Изд-во ИП Чесноков А.В., 2011. 172 p. ISBN 978-5-903435-90-6. EDN QNPUTL.

13. Хуррамов М.Г., Шойназаров Р.М. Способ очистки недостаточно очищенных сточных вод // Экологическое благополучие и здоровый образ жизни человека в 21 веке: политико-правовые, социально-экономические и психолого-гуманитарные аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Новороссийск–Ставрополь, 23–24 ноября 2017 года / Под общей редакцией В.В. Пономарева, Т.А. Куткович. Новороссийск–Ставрополь : Новороссийский институт (филиал) АНО ВО "Московский гуманитарно-экономический университет", Центр научного знания "Логос", 2017. С. 143–146. EDN YNLGFU.

14. Обратное водоснабжение обогатительных фабрик. Методы очистки и кондиционирования сточных и оборотных вод : учеб. пособие / В.П. Мязин, О.В. Литвинцева ; В.П. Мязин, О.В. Литвинцева ; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Читинский гос. ун-т" (ЧитГУ). Чита : РИК ЧитГУ, 2011. С. 153. ISBN 978-5-9293-0624-2. EDN QMZERF.

15. Application of Modified Sorption Material for Efficient Wastewater Treatment of Galvanic Production / O.G. Dubrovskay, V.A. Kulagin, T.A. Kurilina, F.Ch. Li // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. 2017. Vol. 10, No. 5. P. 621–630. DOI 10.17516/1999-494X-2017-10-5-621-630. EDN ZCDQPD.

16. Очистка природных и сточных вод = Water and wastewater treatment : учеб. пособие : в 2 ч : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 280700 "Техносферная безопасность" / В.И. Аксенов ; Аксенов В.И., Мигалатий Е.В., Никифоров А.Ф. Тамбов : Изд-во ИП Чесноков А. В., 2011. С. 167. ISBN 978-5-903435-89-0. EDNQNPUTV.

17. Hasanov A.A., Shikhiyev R.A. Adsorption treatment of textile wastewater contaminated with synthetic dyes // Azerbaijan Chemical Journal. 2022. No. 3. P. 70–74. DOI 10.32737/0005-2531-2022-3-70-74. EDN XSQKSL.

18. Wastewater treatment using natural zeolite materials / S.K. Myrzaliev, G.N.I.P. Pratama, A.G. Khamidulla // Complex Use of Mineral Resources. 2021. № 2(317). P. 64–68. DOI 10.31643/2021/6445.19. EDN AYQITV.

19. Vysotina A.A. Waste water treatment of timber industry enterprises by flotation method. 2022. № 21. P. 205–207. EDN BVAUYK.

20. Sorption purification of wastewater from organic dyes using granulated blast-furnace slag / E.B. Khobotova, I.V. Hraivoronska, Iu.S. Kaliuzhna, M.I. Ilnatenko // Chem Chem Tech. 2021. Vol. 64, № 6. P. 89–94. DOI 10.6060/ivkkt.20216406.6302. EDN PUXWPW.

21. Pervov A.G., Tikhonov K.V. A new technique to purify biologically treated wastewater by reverse osmosis: utilization of concentrate // Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15, № 5. P. 688–700. DOI 10.22227/1997-0935.2020.5.688-700. EDN EMYDAU.

22. Grakova A.G. Optimization of the structure decisions in designing a membrane bioreactor to increase the efficiency of treatment waste water of the dairy industry // Modern Science and Innovations. 2020. № 3(31). P. 121–131. DOI 10.37493/2307-910X.2020.3.15. EDN BNXCBL.

23. Study of the possibility of using zeolite and diatomite in the treatment of oil – contaminated wastewater / S.K. Myrzaliev, Zh.T. Bagasharova, Sh.K. Akilbekova // Complex Use of Mineral Resources. 2022. № 3(322). P. 33–42. DOI 10.31643/2022/6445.26. EDN THCTSU.

24. Arshidinov M.M., Ospanova G.Sh. Ozonization purification of industrial plants wastewater // Вестник алматинского университета энергетики и связи. 2020. № 3(50). P. 90–95. DOI 10.51775/1999-9801_2020_50_3_90. EDN UWBKBF.

25. Sabliy L.E., Zhukova V. Effective technology of pharmaceutical enterprises wastewater local treatment from antibiotics // BIOTECHNOLOGIA ACTA. 2020. Vol. 13, № 3. P. 81–88. DOI 10.15407/bio-tech13.03.081. EDN HSVGBN.

26. Development of measures for purification of waste water from harmful substances of dairy production / M.T. Berdieva, B.O. Toktubakiev, U.M. Kalybek // Наука, новые технологии и инновации Кыргыз-

стана. 2021. № 4. P. 164–166. DOI 10.26104/NNTIK.2019.45.557. EDN GZXLQP.

27. Novel ion exchange fibers for wastewater treatment from heavy metal ions / M.K. Abdulkhaimov, I.T. Garipov, R.A. Khaydarov [et al.] // Management of the Technosphere. 2021. Vol. 4, № 1. P. 88–97. DOI 10.34828/UdSU.2021.81.56.002. EDN HRAMRA.

28. Physico-chemical study of the adsorption properties of natural minerals for the sorption treatment of wastewaters / M.G. Murzagalieva, N.S. Ashimkhan, A.A. Tanybayeva, A.A. Rysmagambetova // Химический журнал Казахстана. 2022. № 4(80). P. 15–25. DOI 10.51580/2022-3/2710-1185.90. EDN CMRYPP.

29. Mammadov H.N., Sadigova A.A. On the development of environmentally sound methods of wastewater treatment of petrochemical complexes // Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. 2022. Vol. 14, № 4. P. 120–128. DOI 10.52171/2076-0515_2022_14_04_120_128. EDN HARESK.

30. Development of technology for biological treatment of oily wastewater with a consortium of microorganisms, microalgae and aquatic plants / G.I. Yernazarova, Zh.M. Bukharbayeva, B.K. Zayadan [et al.] // Bulletin of the Karaganda university. Biology. Medicine. Geography Series. 2021. Vol. 102, № 2. P. 30–36. DOI 10.31489/2021BMG2/30-36. EDN VRCOYB.

31. Krasnova T.A., Timoschuk I.V., Gorelkina A.K., Dugarjav J. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water // Foods and Raw materials. 2017. V. 5. № 2. P. 189–196. doi: 10.21603/2308-4057-2017-2-189-196.

32. Краснова Т., Горелкина А., Кирсанов М. Использование адсорбции для снижения загрязнения водных ресурсов. Экология и промышленность России. 2018; 22(1): 44–49. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-1-44-49>.

33. К вопросу об использовании отходов от водообессоливающих ионообменных установок электростанций / А.Ю. Просеков, И.В. Тимощук,

А.К. Горелкина // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 127–132. DOI 10.25750/1995-4301-2021-4-127-132.

34. Перспективные направления декарбонизации промышленного производства с высокой составляющей углеродного следа в выпускаемой продукции / Е.Н. Неверов, И.А. Короткий, П.С. Коротких, Н.С. Голубева // Ползуновский вестник. 2022. № 4/2. С. 54–65.

35. Салищева О.В., Неверов Е.Н. Исследование эффективности процесса адсорбционной очистки сточных вод с использованием природных материалов в качестве адсорбентов // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 3. С. 87–97.

Информация об авторах

Е. Н. Неверов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности Кемеровского государственного университета.

А. К. Горелкина – профессор кафедры техносферной безопасности Кемеровского государственного университета.

Р. Ю. Схаллок – магистрант Кемеровского государственного университета.

Information about the authors

E.N. Neverov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety of Kemerovo State University.

A.K. Gorelkina - Professor of the Department of Technosphere Safety of Kemerovo State University.

R.Yu. Skhaplok - Master's student of Kemerovo State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья

2.16.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 534.29.66.084:534-18

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.31

 EDN: ZJSJJW

ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Роман Сергеевич Доровских¹, Анна Евгеньевна Пужайкина²,
Александр Сергеевич Боченков³, Андрей Викторович Шалунов⁴,
Виктор Александрович Нестеров⁵

1, 2, 3, 4, 5 Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», Бийск, Россия

¹ dorovskih_roman@mail.ru

² zyatkova.ae@bti.secna.ru

³ sanya.bochankov@mail.ru

⁴ shalunov@u-sonic.ru

⁵ nva@u-sonic.ru

Аннотация. В статье представлены результаты разработки дисковых ультразвуковых излучателей 4 разных типов и даны рекомендации по области их возможного применения. Представлены диаграммы направленности разработанных излучателей и зависимости ослабления звукового давления от расстояния до излучателя и приведены их основные характеристики. Показано, что плоская фронтальная поверхность дискового излучателя на расстоянии 1 метр обеспечивает излучение с уровнем звукового давления порядка 152 дБ. Ступенчато-переменная фронтальная поверхность диска позволяет формировать уровень звукового давления в пределах 155 дБ. При осуществлении фокусировки в точке фокуса обеспечивается уровень звукового давления 173-177 дБ, при этом на расстоянии 1 метр уровень падает до 145-151 дБ за счет расхождения колебаний.

Ключевые слова: ультразвук, дисковый излучатель, газодисперсная среда, упругая деформация, колебания, сушка, распыление, коагуляция, дисперсные частицы, пеногашение.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 21-72-00158), <https://rscf.ru/en/project/21-72-00158/>.

Для цитирования: Излучатели для формирования высокоинтенсивных ультразвуковых колебаний в газовых средах различного назначения / Р. С. Доровских [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 226–237. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.031. EDN: <https://elibrary.ru/ZJSJJW>.

Original article

EMITTERS FOR THE FORMATION OF HIGH-INTENSITY ULTRASONIC VIBRATIONS IN GASEOUS MEDIA FOR VARIOUS PURPOSES

Roman S. Dorovskikh¹, Anna E. Puzhaykina², Alexander S.Bochenkov³,
Andrey V. Shalunov⁴, Viktor A. Nesterov⁵

1,2,3 Biysk Technological Institute (branch) of the Polzunov Altai State Technical University, Biysk, Russia

¹ dorovskih_roman@mail.ru

² zyatkova.ae@bti.secna.ru

³ sanya.bochankov@mail.ru

⁴ shalunov@u-sonic.ru

⁵ nva@u-sonic.ru

© Доровских Р. С., Пужайкина А. Е., Боченков А. С., Шалунов А. В., Нестеров В. А., 2023

ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Abstract. *The article presents the results of the development of disk ultrasonic emitters of 4 different types and gives recommendations on the area of their possible application. The radiation patterns of the developed emitters and the dependence of the sound pressure attenuation on the distance to the emitter are presented, and their main characteristics are given. It is shown that the flat front surface of the disk radiator at a distance of 1 meter provides radiation with a sound pressure level of about 152 dB. The step-variable front surface of the disc allows you to form a sound pressure level within 155 dB. When focusing at the focal point, a sound pressure level of 173-177 dB is provided, while at a distance of 1 meter the level drops to 145-151 dB due to the divergence of oscillations.*

Keywords: *ultrasonic, disk emitter, gas-dispersed medium, elastic deformation, vibrations, drying, spraying, coagulation, dispersed particles, defoaming.*

Acknowledgements: *The study was carried out by a grant from the Russian Science Foundation (project 21-72-00158), <https://rscf.ru/en/project/21-72-00158/>.*

For citation: Dorovskikh, R. S., Puzhaykina, A. E., Bochenkov, A. S., Shalunov, A. V. & Nesterov, V. A. (2023). Emitters for the formation of high-intensity ultrasonic vibrations in gaseous media for various purposes. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 226–237. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.031. <https://elibrary.ru/ZJSJJW>.

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковые технологии прочно завоевали себе место в современном производстве. Воздействие ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности служит основой для улучшения свойств известных веществ и материалов, интенсификации различных технологических процессов. Наибольшее практическое распространение получило ультразвуковое оборудование, предназначенное для кавитационной обработки жидких сред, обеспечивающее интенсификацию таких технологических процессов как диспергирование, эмульгирование, экстракция, очистка и т.д. При этом введение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности (более 3...10 Вт/см²) осуществляется непосредственно в жидкие и жидко – дисперсные среды [1,3].

В последние годы акустическое воздействие начинают применять для интенсификации процессов в газовых средах. Такое воздействие позволяет повысить эффективность улавливания высокодисперсных материалов и очистки газов за счет коагуляции твердых и жидких частиц, удаление пен при производстве и упаковке пенящихся продуктов. Кроме того, УЗ воздействие на материалы и объекты в газах, ускоряется процесс сушки легкоокисляемых веществ, обеспечивает распыления при производстве высокодисперсных материалов и нанесении разнообразных покрытий и даже лечит человека [4-6].

К сожалению, до настоящего времени, широкой практической реализации ультразвуковой технологии в газовых средах не получили. Причина этого заключается в том, что в качестве источника звуковых колебаний использовались газоструйные излучатели с

низким КПД (до 25%) и малой эрозионной стойкостью поверхностей сопла и резонатора. Кроме того, такие излучатели могут эффективно работать только в звуковом диапазоне частот. Звуковые частоты высокой интенсивности оказывают крайне негативное влияние на человека и живые организмы (прогнозируются смертельные воздействия при уровне более 140 дБ). Это делает практически не реализуемой интенсификацию процессов в газовых средах колебаниями в звуковом диапазоне частот.

Невозможность применения звуковых колебаний обуславливает необходимость совершенствования источников акустического воздействия для работы в ультразвуковом диапазоне частот (частоты выше 22 кГц практически не воспринимаются живыми организмами и не оказывают на них негативного воздействия).

Однако, при генерации ультразвуковых колебаний с высоким уровнем звукового давления (более 130 дБ) на частоте выше 20 кГц газоструйные излучатели должны конструктивно выполняться очень маленьких размеров (размеры сопла и резонатора около 1 мм). Создаваемые ими колебания способны бесконтактно осуществлять энергетические воздействия в очень маленьких объемах, существенно ослабляясь за счет дифракционного расхождения на расстояниях в несколько сантиметров [7].

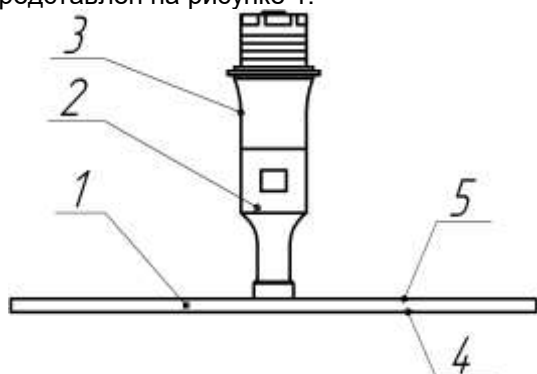
Решениям указанной проблемы может служить создание нового типа излучателей представляющие собой изгибно-колеблющиеся диски [8]. Колебания таких излучателей на заданной моде на частотах более 22 кГц с уровнями давления до 170 дБ формируются последовательно установленными и пьезоэлектрическими преобразовате-

лями [4, 10]. Дисковые излучатели могут иметь размеры излучающих поверхностей более 1 м² и способны осуществлять вывод в воздух до 60% от энергии, затрачиваемой на формирование ультразвуковых колебаний.

Особенностью таких излучателей является то, что размеры и форма излучающей поверхности определяют направленность излучаемых колебаний и их интенсивность. Поэтому далее проанализированы характеристики ультразвукового поля (диаграмма направленности и погонное затухание), формируемого различными типами дисковых излучателей, созданных авторами в настоящей статье, и даны рекомендации по области их возможного применения.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДИСКОВОГО ТИПА

Основой всех конструкций дисковых излучателей может служить плоский, соединенный с электроакустическим преобразователем (колебательной системой). Эскиз колебательной системы с плоским излучателем представлен на рисунке 1.



1 – дисковый излучатель; 2 – трансформатор колебательной скорости;
3 – электроакустический преобразователь;
4 – фронтальная сторона; 5 – тыльная сторона

Рисунок 1 – Ультразвуковая колебательная система с плоским дисковым излучателем

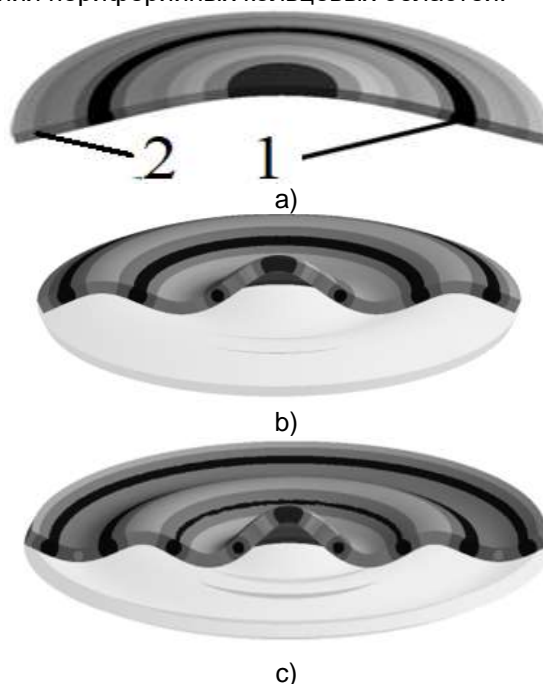
Figure 1 – Ultrasonic oscillatory system with a flat disk radiator

Колебания дискового излучателя на определенной моде колебаний характеризуется пространственной конфигурацией колеблющегося диска, определяемой положением узловых окружностей (кольцевых поверхностей в которых амплитуда колебаний равна нулю), а также собственной частотой (определяемой диаметром диска и его толщиной). При этом номер моды колебаний определяется количеством

таких узловых окружностей [8].

При работе излучателя на изгибной моде, области диска, разделенные узловыми окружностями, излучают колебания в противоположенных фазах. Таким образом, некоторые кольцевые области колеблются синфазно колебательной системе, а другие – противофазно. На рисунке 2а представлено распределение колебаний на первой моде колебаний излучателя в форме диска. При работе излучателей на более высоких частотах колебаний используют высшие моды колебаний (рисунок 2b, c).

Такая конструкция излучателя позволяет понять принцип формирования колебаний, однако практического применения не имеет, поскольку обладает неравномерным распределением амплитуд колебаний. У диска происходит уменьшение амплитуды колебаний кольцевых областей по мере удаления от центра. Это снижает эффективность излучения периферийных кольцевых областей.



а – 2-я мода; b – 3-я мода; c – 4-я мода;
1 – узловая окружность («нуль колебаний»);
2 – кольцевая область

Рисунок 2 – Распределения колебаний плоского дискового излучателя

Figure 2 – Vibration distributions of a flat disk radiator

Это снижает эффективность излучения периферийных кольцевых областей. Распределения относительных амплитуд колебаний плоского дискового излучателя, колеблющегося на различных кольцевых модах, представлены на рисунке 3.

ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

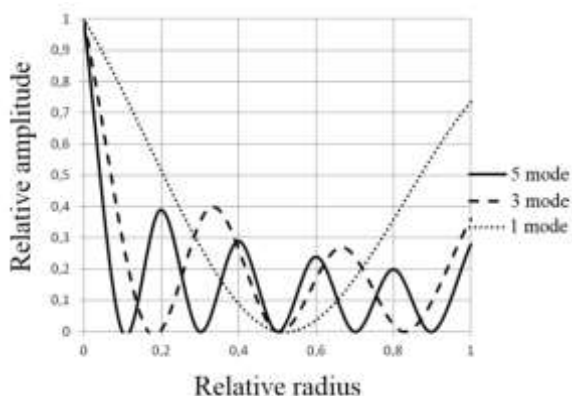


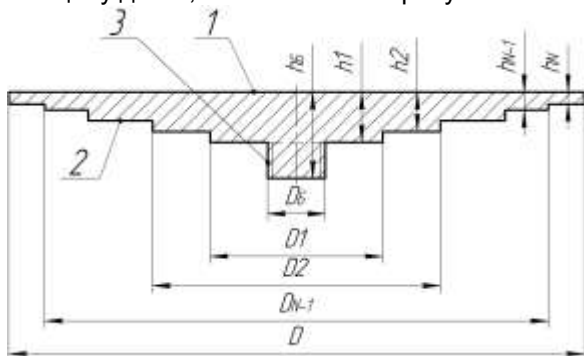
Рисунок 3 – Распределения относительных амплитуд колебаний плоского излучателя по радиусу

Figure 3 – Distributions of relative oscillation amplitudes of a flat radiator along the radius

Снижение амплитуд колебаний по мере удаления от центра связано с ростом жесткости кольцевых областей вследствие увеличения их площади. Исключение составляет только крайняя (периферийная) кольцевая область, жесткость которой ниже (за счет отсутствия закрепления внешнего края), что приводит к увеличению амплитуды колебаний до 30 %.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ КОЛЕБАНИЙ ДИСКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Для устранения неравномерности колебаний дискового излучателя необходимо с тыльной стороны диска ступенчато уменьшать толщину диска, как показано на рисунке 4.



1 – фронтальная сторона; 2 – тыльная сторона; 3 – присоединительный хвостовик (диаметр резьбы D_b)

Рисунок 4 – Изгибно-колеблющийся дисковый излучатель с плоской фронтальной поверхностью и ступенчатым профилем тыльной стороны, корректирующим амплитуду колебаний

Figure 4 – Flexural-oscillating disk radiator with a flat front surface and a stepped back side profile that corrects the oscillation amplitude

В такой конструкции увеличение жесткости (по мере удаления от центра) кольцевых областей диска компенсируется, соответствующим снижением толщины диска по мере удаления от центра. С тыльной стороны изменение толщины диска выполняется в местах узловых окружностей, соответствующих нулям колебаний с диаметрами равными D_1-D_{n-1} (рисунок 4). Места изменения толщины диска дальше будут обозначаться ступенчатыми переходами.

Взаимная компенсация изменения жесткости диска по радиусу и толщине (увеличение жесткости диска с увеличением его радиуса, компенсируется снижением толщины диска) обеспечивает равномерность амплитуды колебаний по всей поверхности диска.

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБУЕМОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Выполнение тыльной стороны дискового излучателя ступенчато-переменной по толщине позволило обеспечить равномерность амплитуды ультразвуковых колебаний, формируемых по всей поверхности излучателя.

Но поскольку, как было указано выше, соседние кольцевые области диска формируют равноамплитудные колебания в противофазе, то в воздухе на некотором расстоянии от излучателя происходит взаимная компенсация излучения. Это существенно снижает формируемый уровень звукового давления и дальность распространения колебаний.

Что избежать взаимной компенсации колебаний, а также иметь возможность задавать необходимую диаграмму направленности излучателя фронтальную поверхность излучателя также можно выполнить ступенчато-переменной по толщине. Местоположение и размеры фронтальных выступов или углублений и будут определять основные характеристики акустического поля, формируемого излучателем.

Далее рассмотрены 4 наиболее представительных варианта дисковых излучателей и проанализированы их характеристики:

- излучатель с плоской фронтальной поверхностью (используется как контрольный образец, с ним будут сравниваться остальные типы излучателей);
- направленный излучатель со ступенчато-переменной поверхностью и преимущественным излучением одной фазы колебаний;
- фокусирующий излучатель со ступенчато-вогнутым профилем излучающей поверхности;
- фокусирующий излучатель со ступенчато-радиальным профилем излучающей поверхности;

На рисунках 5-8 представлены схемы, поясняющие принцип работы вышеперечисленных типов изгибно-колеблющихся дисковых излучателей.

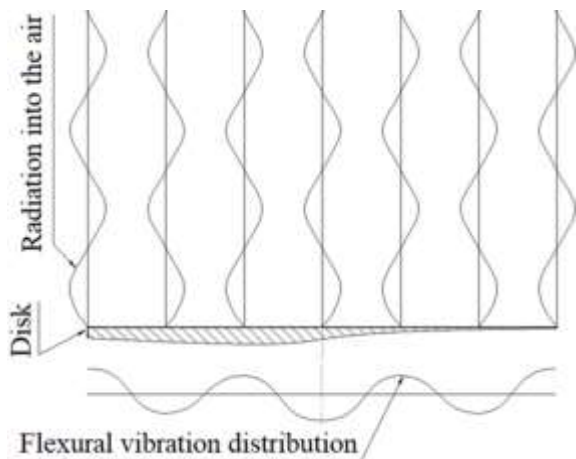
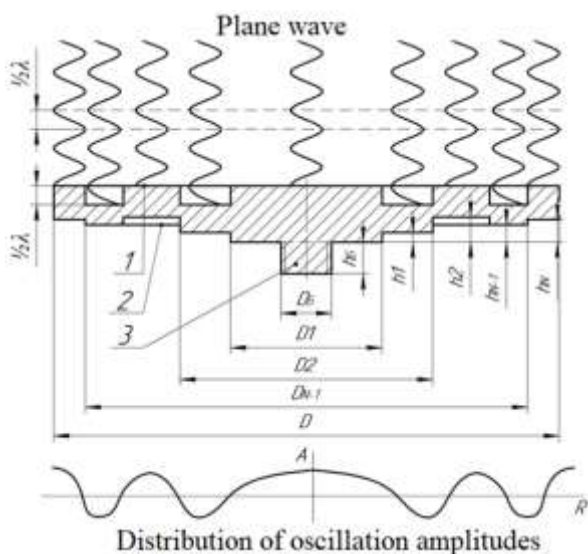


Рисунок 5 – Схема излучателя с плоской фронтальной поверхностью

Figure 5 – Scheme of a radiator with a flat front surface



1 – фронтальная сторона; 2 – тыльная сторона;
3 – присоединительный хвостовик

Рисунок 6 – Схема направленного излучателя со ступенчато-переменной поверхностью

Figure 6 – Scheme of a directional emitter with a step-variable surface

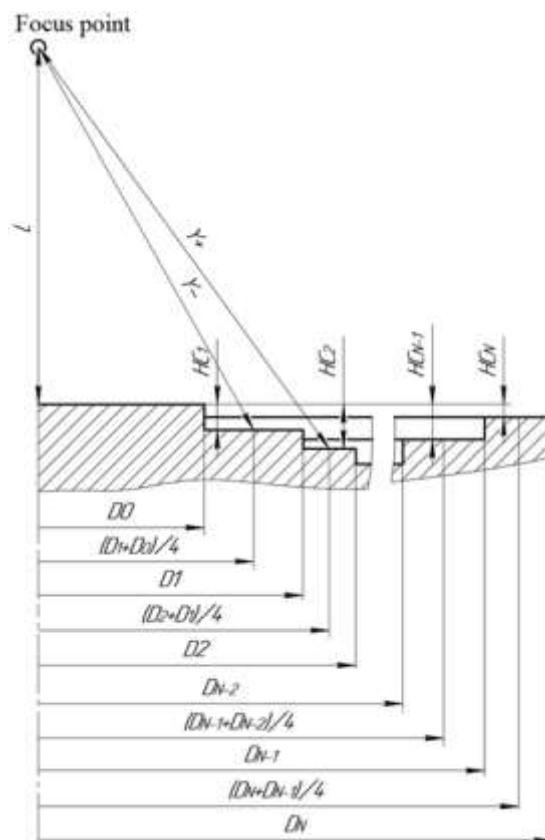


Рисунок 7 – Схема фокусирующего излучателя со ступенчато-вогнутым профилем излучающей поверхности

Figure 7 – Scheme of a focusing radiator with a stepped-concave profile of the radiating surface

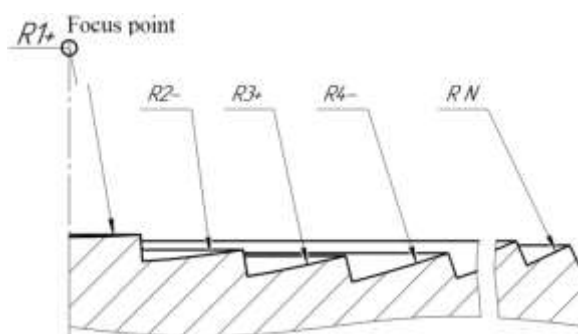


Рисунок 8 – Схема Фокусирующего излучателя со ступенчато-радиальным профилем излучающей поверхности

Figure 8 – Scheme of the Focusing Radiator with a step-radial profile of the radiating surface

На рисунке 9 представлена типовая форма колебаний рассматриваемых дисковых излучателей.

ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

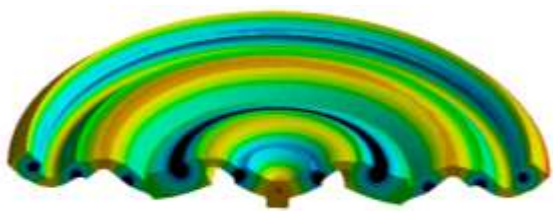


Рисунок 9 – Типовая форма колебаний изгибно-колеблющегося дискового излучателя

Figure 9 – Typical form of vibrations of a flexural-oscillating disk radiator

Во всех конструкциях дисковых излучателей, выравнивание амплитуд колебаний кольцевых областей обеспечивается за счет геометрии тыльной стороны (ступенчатые переходы с высотами h_1-h_n , рис. 4). Далее принципы работы каждого из перечисленных типов излучателей рассмотрены более подробно.

Как видно из рисунка 5 и ранее уже упоминалось, соседние кольцевые области диска формируют равноамплитудные колебания в противофазе, то в воздухе на некотором расстоянии от излучателя происходит взаимная компенсация излучения.

Для исключения этого явления был разработан направленный излучатель со ступенчато-переменной поверхностью и преимущественным излучением одной фазы колебаний. Для обеспечения синфазности излучаемых колебаний профиль фронтальной поверхности этого типа излучателей (рисунок 6) выполнен ступенчато-переменным. При этом ступенчатые переходы выполняются в зонах узловых окружностей на диаметрах D_1-D_{N-1} с высотой равной половине длины волны УЗ колебаний в газовой среде. Таким образом, фаза излучения всех точек поверхности выравнивается и формируется синфазная плоская волна.

Для увеличения уровня звукового давления, формируемого в газовой среде возможно использования принципа фокусировки колебаний на некотором расстоянии от излучателя. Для обеспечения сложения волн в требуемой области (точка фокуса) и излучения высокоинтенсивных УЗ колебаний, профиль фронтальной стороны излучателя выполняется таким обра-

зом (высоты $h_{C_1} - h_{C_N}$), чтобы каждая точка колеблющейся поверхности излучала в воздушную среду акустическую волну, при этом «положительные» максимумы колебательных смещений должны быть расположены на расстояниях от центра излучателя согласно формуле:

$$Y_+ = \sqrt{n\lambda L + \frac{n^2 \lambda^2}{4}} \quad (1)$$

где $n=0,2,4,\dots$, λ - длина звуковой волны в воздухе, L - расстояние от центра излучателя до фокуса.

И «отрицательные» максимумы на расстояниях, рассчитанных по формуле:

$$Y_- = \sqrt{n\lambda L + \frac{n^2 \lambda^2}{4}} \quad (2)$$

где $n=1,3,5,\dots$

Таким образом, колебания, излучаемые каждой кольцевой областью, будут приходить в фокус в одной фазе.

Для дальнейшего увеличения уровня звукового давления в фокусе профиль сечения кольцевых областей диска может быть выполненным радиальным, с центром радиуса в точке фокуса. При этом радиус сферы каждой кольцевой поверхности кратен половине длины волны и должен отличаться от соседней на половину длины волны.

Далее представлены фотографии разработанных излучателей и их основные технические характеристики.

ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ ДИСКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ, МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД

Фотографии изготовленных излучателей 4-х типов представлены на рисунке 10. Материал изготовленных излучателей титановый сплав ВТ1-0. Каждый излучатель снабжен электронным генератором для питания. Генераторы обеспечивают поддержание постоянной амплитуды колебаний (размах) на уровне 50 мкм. Технические характеристики разработанных УЗ излучателей представлены в таблице 1.

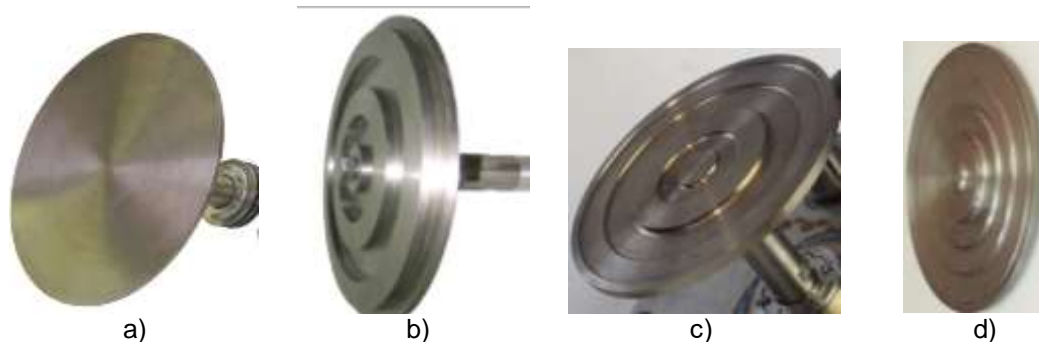
Таблица 1 – Технические характеристики ультразвуковых излучателей

Table 1 – Technical characteristics of ultrasonic emitters

Наименование параметра				
Тип дискового излучателя	Излучатель с плоской фронтальной поверхностью	Направленный излучатель со ступенчато-переменной поверхностью	фокусирующий излучатель со ступенчато-вогнутым профилем излучающей поверхности	фокусирующий излучатель со ступенчато-радиальным профилем излучающей поверхности
1	2	3	4	5
Диаметр излучателя, мм	Ø320	Ø320	Ø 320	Ø 320

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5
Потребляемая мощность, Вт	250	240	245	255
Частота колебаний, кГц	22,1	22,5	22,3	21,8
Амплитуда колебаний поверхности мах/мин	51/45	52/48	50/48	50/49
Средняя амплитуда колебаний	35	36	35	35



a – излучатель с плоской фронтальной поверхностью; b – направленный излучатель со ступенчато-переменной поверхностью; c – фокусирующий излучатель со ступенчато-вогнутым профилем излучающей поверхности; d – фокусирующий излучатель со ступенчато-радиальным профилем излучающей поверхности

Рисунок 10 – Фото ультразвуковых дисковых излучателей

Figure 10 – Photo of ultrasonic disk emitters

Для определения диаграммы направленности, формируемой разработанными излучателями, был создан экспериментальный стенд, предназначенный для измерения звукового давления, создаваемого излучателем в произвольной точке пространства на расстоянии 1,5 м и 0,3 м от центра фронтальной поверхности излучателя (рисунок 11). Для измерения диаграммы направленности на расстоянии 0,3 м (область фокусировки в ближней зоне) стенд перенастраивался (устанавливалась другая дуга удерживающая микрофон).



Рисунок 11 – Стенд для измерения звукового давления

Figure 11 – Stand for measuring sound pressure
232

Измерение звукового давления осуществлялось измерителем уровня звукового давления Экофизика-110А.

Метод измерения линейного ослабления уровня звукового давления в зависимости от расстояния до источника ультразвуковых колебаний заключался в измерении уровня звукового давления, формируемого ультразвуковым излучателем вдоль акустической оси на различных расстояниях до излучателя. Измерения проводились на открытом участке для исключения переотражения колебаний в воздухе и искажения показаний. Измерение звукового давления осуществлялось измерителем уровня звукового давления Экофизика-110А. При определении ослабления в ближней зоне (до 1 м от источника) измерении уровня звукового давления вдоль акустической оси осуществлялось через каждые 50 мм. В диапазоне расстояний от 1 до 2 метров измерение проводилось через каждые 200 мм. В диапазоне от 2 до 10 метров – через каждый метр.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В результате исследований изготовленных излучателей и измерений уровня звукового давления были получены диаграммы направ-

ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ленности (при расстоянии до излучателя 0,3 м и при расстоянии 1 м) и графики ослабления звукового давления в зависимости от расстояния до излучателя. На рисунке 12 представлены диаграммы направленности.

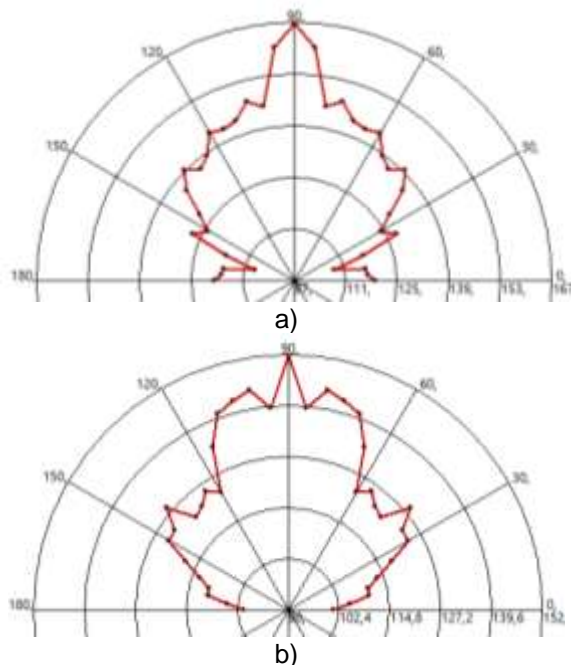


Рисунок 12 – Диаграммы направленности в зависимости от расстояния до излучателя с плоской поверхностью: а) – расстояние 0.3 м; б) – расстояние 1 м

Figure 12 – Radiation patterns depending on the distance to the radiator with a flat surface: a) - distance 0.3 m; b) - distance 1 m

График ослабления звукового давления в зависимости от расстояния до излучателя первого типа с плоской излучающей поверхностью представлен на рисунке 13.

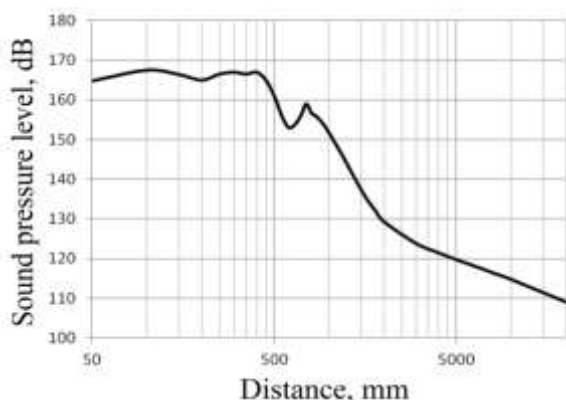


Рисунок 13 – График ослабления звукового давления в зависимости от расстояния до излучателя с плоской фронтальной поверхностью

Figure 13 – Graph of sound pressure attenuation depending on the distance to the radiator with a flat frontal surface

Анализ полученных данных показал, что в ближней зоне излучатель на акустической оси формирует УЗ поле с уровнем звукового давления не более 167 дБ, а на расстоянии 1 м – 152 дБ. Т.е. за счет того, что диаметр излучателя во много раз больше длины формируемой в газе волны, в центре формируется область автофокусировки с высоким уровнем звукового давления. Основная же часть центрального лепестка диаграммы направленности (1 м) имеет ширину около 50 градусов, с уровнем звукового давления около 141 дБ. При этом дальнейшее увеличение расстояние приводит к существенному уменьшению уровня звукового давления вследствие рассеяния и взаимной компенсации колебаний в газе. Например, уже при расстоянии 1.5 метра до излучателя уровень звукового давления падает до 136 дБ. Полученные данные показывают, что рассматриваемая конструкция УЗ излучателя может быть использована при реализации и интенсификации технологических процессов в ближней зоне (до 1 метра), такие как коагуляция и сушка.

При установке отражающей поверхности на небольшом расстоянии (до 30 длин волн) от излучателя возможно резонансное усиление колебаний, т.е. формирование стоячей волны, вследствие чего в существенно возрастает уровень звукового давления. Таким образом, в пространстве между излучателем и отражателем может быть реализован процесс коагуляции высокодисперсных частиц [10].

Также предложенная конструкция может быть использована при реализации процесса распыления пленки жидкости с поверхности излучателя.

На рисунке 13 представлены диаграммы направленности в зависимости от расстояния до направленного излучателя со ступенчато-переменной поверхностью.

График ослабления звукового давления в зависимости от расстояния до направленного излучателя со ступенчато-переменной поверхностью формирующего плоскую волну представлен на рисунке 14.

Диаграмма направленности (0.3 м) имеет ширину 60 градусов, при этом во всем диапазоне формируется постоянный уровень звукового давления 155-157 дБ.

Диаграмма направленности (1 м) имеет малую ширину (30 градусов) со средним уровнем звукового давления более 152 дБ, что свидетельствует о малом рассеянии и малой взаимной компенсации колебаний в рассматриваемой области, которая не превышает диаметр излучателя. В тоже время можно отметить, что не происходит усиления

колебаний в области перед излучателем, таким образом, во всей области уровень звукового давления не превышает 160 дБ.

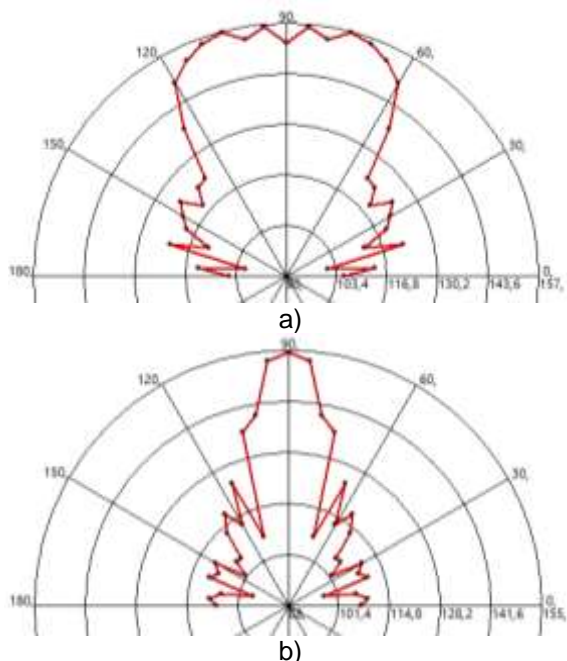


Рисунок 13 – Диаграммы направленности в зависимости от расстояния до направленного излучателя со ступенчато-переменной поверхностью: а) – расстояние 0.3 м; б) – расстояние 1 м

Figure 13 – Radiation patterns depending on the distance to a directional emitter with a step-variable surface: a) - distance 0.3 m; b) - distance 1 m

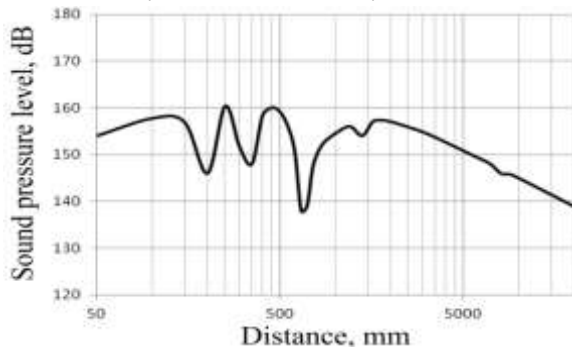


Рисунок 14 – График ослабления звукового давления в зависимости от расстояния до направленного излучателя со ступенчато-переменной поверхностью

Figure 14 – Graph of sound pressure attenuation depending on the distance to a directional emitter with a step-variable surface

Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что рассматриваемая конструкция УЗ излучателя формирует узконаправленное излучение и может быть использована для интенсификации процессов коагуляции и сушки [11-13]. Излучатель обеспечивает формирование плоской волны с интенсивностью более

155 дБ на расстоянии до 2 метров и не менее 150 дБ на расстоянии до 5 метров.

На рисунке 15 представлены диаграммы направленности в зависимости от расстояния до фокусирующего излучателя с плоскими кольцевыми поверхностями.

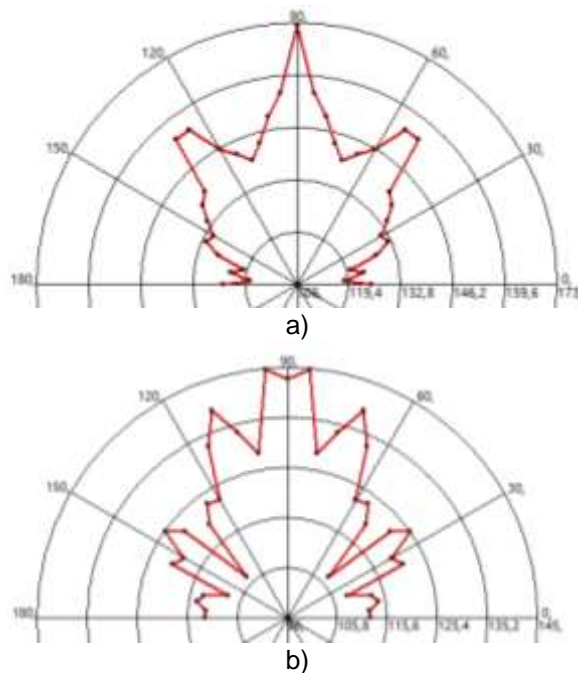


Рисунок 15 – Диаграммы направленности в зависимости от расстояния до фокусирующего излучателя с плоскими кольцевыми поверхностями: а) – расстояние 0.3 м; б) – расстояние 1 м

Figure 15 – Radiation patterns depending on the distance to the focusing radiator with flat annular surfaces: a) - distance 0.3 m; b) - distance 1 m

График ослабления звукового давления в зависимости от расстояния до фокусирующего излучателя с плоскими кольцевыми поверхностями представлен на рисунке 16.

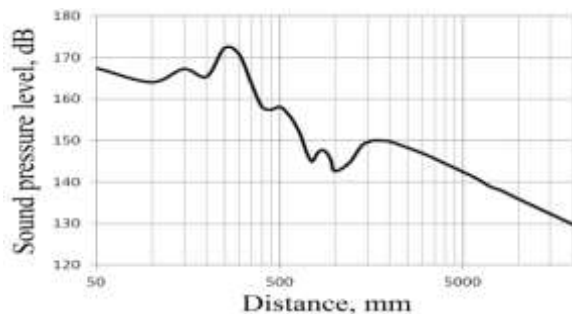


Рисунок 16 – График ослабления звукового давления в зависимости от расстояния до фокусирующего излучателя с плоскими кольцевыми поверхностями

Figure 16 – Graph of sound pressure attenuation depending on the distance to the focusing radiator with flat annular surfaces

ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

На рисунке 17 представлены диаграммы направленности в зависимости от расстояния до фокусирующего излучателя со сферическими кольцевыми поверхностями.

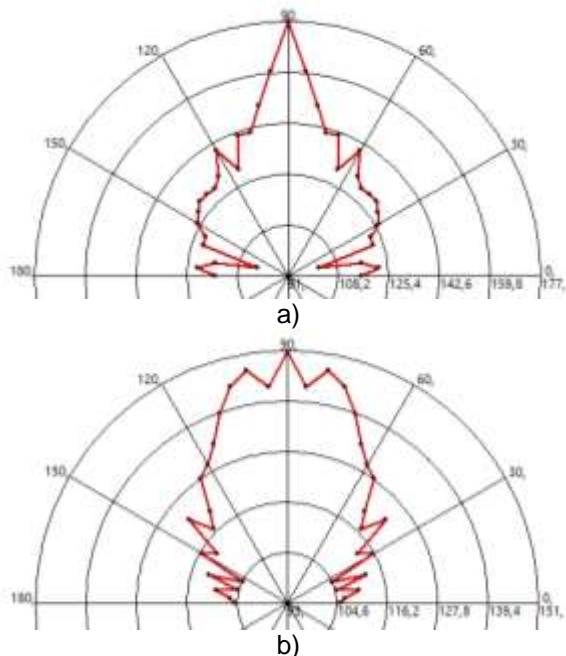


Рисунок 17 – Диаграммы направленности в зависимости от расстояния до фокусирующего излучателя со сферическими кольцевыми поверхностями: а) – расстояние 0.3 м; б) – расстояние 1 м

Figure 17 – Radiation patterns depending on the distance to the focusing radiator with spherical annular surfaces: a) - distance 0.3 m; b) - distance 1 m

График ослабления звукового давления в зависимости от расстояния до фокусирующего излучателя со сферическими кольцевыми поверхностями представлен на рисунке 18.

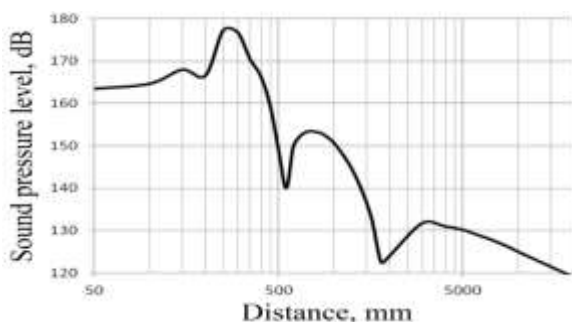


Рисунок 18 – График ослабления звукового давления в зависимости от расстояния до фокусирующего излучателя со сферическими кольцевыми поверхностями

Figure 18 – Graph of sound pressure attenuation depending on the distance to the focusing radiator with spherical annular surfaces

Анализ графиков показал, что выполнение сферических поверхностей (ступенчато-радиальный профиль) позволяет увеличить уровень звукового давления в фокусе (0.3 м) на 4 дБ, за счет снижения рассеяния (перенаправления колебаний), что позволит повысить эффективность воздействия на газодисперсные системы.

Однако, несмотря на высокий уровень звукового давления в фокусе, на расстоянии более 1 метра уровень звукового давления резко начинает падать у обоих излучателей фокусирующего типа. Таким образом, после прохождения точки фокусировки, ультразвуковые колебания становятся расходящимися. Поэтому с увеличением расстояния от излучателя уровень звукового давления у них падает сильнее, чем у ранее рассмотренных излучателей.

Разработанные фокусирующие излучатели могут быть найдены свое применение в промышленных сферах, таких как коагуляция в локальной области, находящейся в точке фокуса. Также излучатель может быть использован для бесконтактной сушки, разрушения пены и бесконтактного распыления жидкости, подаваемой в фокусе излучателя. Эффективность воздействия на расстоянии более 400 мм существенно снижается вследствие ослабления уровня звукового давления. Поэтому разработанные фокусирующие излучатели формируют УЗ поле, обеспечивающее низкую эффективность процесса коагуляции частиц на расстоянии более 1 метра.

Для увеличения уровня звукового давления на большем расстоянии необходимо модернизировать излучатель (выполнить пересчет профиля фронтальной стороны излучателя с большим фокусным расстоянием).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье были представлены различные типы конструкций и принципы построения дисковых излучателей для воздействия на газовые среды. Было показано, что за счет ступенчатого изменения толщины диска можно обеспечить равенство амплитуд колебаний по всей поверхности излучателя. При этом изменение толщины диска производится с тыльной стороны излучателя и выполняется в местах узловых окружностей, соответствующих нулям колебаний излучателя.

Для исключения взаимной компенсации колебаний в воздухе на некотором расстоянии от излучателя, а также для обеспечения необходимой диаграммы направленности излучателя фронтальную поверхность излу-

чателю предложено также выполнить ступенчато-переменной по толщине. Местоположение и размеры фронтальных выступов или углублений определяют основные характеристики акустического поля, формируемого излучателем.

Это позволило разработать 4 типа излучателей и определить их основные характеристики. Было установлено, что излучатель с плоской фронтальной поверхностью обеспечивает 167 дБ и позволяет интенсифицировать ряд технологических процессов в ближней зоне (до 1 метра), таких как коагуляция и сушка.

Излучатель второго типа со ступенчато-переменной поверхностью и преимущественным излучением одной фазы колебаний позволяет создать в воздушной среде однородное ультразвуковое поле при уровне звукового давления 155-157 дБ на расстоянии до 2 метров до излучателя.

Излучатели 3 и 4 типов позволяют существенно увеличить уровень формируемого звукового давления за счет фокусировки и обеспечивают до 173 дБ и 177 дБ в фокусе соответственно. После прохождения точки фокусировки, ультразвуковые колебания становятся расходящимися. Поэтому с увеличением расстояния от излучателя уровень звукового давления у них падает сильнее, чем у ранее рассмотренных излучателей.

Таким образом, в результате проделанной работы предложены принципы разработки и созданы ультразвуковые излучатели для газовых сред с различными диаграммами направленности и создаваемым уровнем звукового давления.

Созданные излучатели могут быть использованы для интенсификации большого числа процессов в газовых средах, в том числе разрушения туманов, газоочистки, сушки, разрушения пены и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг Л.Д. Источники мощного ультразвука. Москва: Наука, 1969. 380 с.
2. Агранат Б.А., Дубровин М.Н. Основы физики и техники ультразвука. Москва: Высшая школа, 1987. 352 с.
3. Ультразвук. Аппараты и технологии: монография / В.Н. Хмелев [и др.]. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. 687 с.
4. Разработка пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем для интенсификации процессов в газодисперсных системах / В.Н. Хмелев [и др.] // Известия Тульского Государственного университета. 2010. №1. С.148–153.

5. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Golykh, R.N. & Nesterov, V.A. (2018). The disk radiator for the influence on the gas media. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*. 15(2), 122–129.

6. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Abramenco D.S., Barsukov, R.V. & Lebedev, A.N. (2011). Studies of ultrasonic dehydration efficiency. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*. 12(4), 247–254.

7. Mitin, A. & Efimov, Y. (2001). Gas-jet ultrasonic generators for NDT. *Nondestructive Testing and Evaluation*. 17, 341–350.

8. Бабаков И.М. Теория колебаний. Москва: Дрофа, 2004. 591 с.

9. Ультразвуковой преобразователь с радиально расположенными пьезокерамическими пакетами / В.Н. Хмелев [и др.] // Ползуновский вестник. 2022. Т.2, № 4. С. 66–76.

10. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Nesterov, V.A. & Bochenkov, A.S. (2021). The limits of fine particle ultrasonic coagulation. *Symmetry*. 13, 1–19.

11. Разработка и исследование ультразвукового коагулятора, основанного на вихревых акустических потоках / А.В. Шалунов [и др.] // Ползуновский вестник. 2022. Т.2, №4. С. 84–92.

12. Ультразвуковая коагуляция в скрубберах вентури: особенности реализации и эффективность применения / В.Н. Хмелев [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. № 331. С. 128–139.

13. Разработка и исследование нового способа газоочистки от частиц размером менее / В.Н. Хмелев [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. № 332. С.127–139.

Информация об авторах

Р. С. Доровских – кандидат технических наук, научный сотрудник Бийского технологического института (филиал) АлтГТУ.

А. Е. Пужайкина – инженер кафедры МСИА Бийского технологического института (филиал) АлтГТУ.

А. С. Боченков – инженер кафедры МСИА Бийского технологического института (филиал) АлтГТУ.

А. В. Шалунов – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Бийского технологического института (филиал) АлтГТУ.

В. А. Нестеров – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Бийского технологического института (филиал) АлтГТУ.

REFERENCES

1. Rosenberg, L.D. (1969). Sources of powerful ultrasound. Moscow: Nauka. (In Russ.)
2. Agranat, B.A. & Dubrovin, M.N. (1987).

ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Fundamentals of physics and technology of ultrasound. Moscow: Higher School. (In Russ.).

3. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Khmelev, S.S. & Tsyganok, S.N. (2015). Ultrasound. Apparatus and technology. Biysk: Alt. state tech. university (In Russ.).

4. Khmelev, V.N., Galakhov, A.N., Shalunov, A.V., Khmelev, S.S., Tsyganok, S.N. & Lebedev, A.N. (2010). Development of piezoelectric ultrasonic oscillatory systems for the intensification of processes in gas-dispersed systems. *Bulletin of the Tula State University*, (1). 148–153. (In Russ.).

5. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Golykh, R.N. & Nesterov, V.A. (2018). The disk radiator for the influence on the gas media. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*. 15(2), 122–129.

6. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Abramenko D.S., Barsukov, R.V. & Lebedev, A.N. (2011). Studies of ultrasonic dehydration efficiency. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*. 12(4), 247–254.

7. Mitin, A. & Efimov, Y. (2001). Gas-jet ultrasonic generators for NDT. *Nondestructive Testing and Evaluation*. 17, 341–350.

8. Babakov, I.M. (2004). Theory of vibrations. Moscow: Drofa. (In Russ.).

9. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Nesterov, V.A. & Bochenkov, A.S. (2022). Ultrasonic Transducer with Radially Arranged Piezoceramic Packages. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 66–76. (In Russ.).

10. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Nesterov, V.A. & Bochenkov, A.S. (2021). The limits of fine particle ultrasonic coagulation. *Symmetry*. 13, 1–19.

11. Shalunov, A.V., Nesterov, V.A., Golykh, R.N., Bochenkov, A.S., Dorovskikh, R.S. & Khmelev, V.N. (2022). Development and research of an ultrasonic coagulator based on vortex acoustic flows. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 84–92. (In Russ.).

12. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Tsyganok, S.N. & Nesterov, V.A. (2020). Ultrasonic Coagulation in Venturi Scrubbers: Features of Implementation and

Efficiency of Application. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*, (331), 128–139. (In Russ.).

13. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Nesterov, V.A. & Bochenkov, A.S. (2021). Development and research of a new method of gas purification from particles smaller than 2.5 μm . *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*, (332), 127–139.

Information about the authors

R. S. Dorovskikh – Candidate of Technical Sciences, Researcher at the Biysk Institute of Technology (branch) of the Polzunov Altai State Technical University.

A. E. Puzhaykin – Engineer of the Biysk Institute of Technology (Branch) of the Biysk Institute of Technology of the Polzunov Altai State Technical University.

A. S. Bochenkov – Engineer of the Biysk Institute of Technology Department. Institute (branch) of the Polzunov Altai State Technical University.

A. V. Shalunov – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Methods and Measuring Instruments and Automation of the Biysk Technological Institute (branch) of the Polzunov Altai State Technical University.

A. V. Nesterov – Candidate of Technical Sciences Associate Professor of the Department of Methods and Measuring Instruments and Automation of the Biysk Technological Institute (branch) of the Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК 621.793.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.32

 EDN: CUJOGЕ

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Александр Григорьевич Соколов¹, Эдуард Эдуардович Бобылёв²,
Вячеслав Дмитриевич Марченко³

^{1, 2, 3} Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

¹ sag-51@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8105-1429>

² ebobylev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7754-1807>

³ mwsat79@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3514-0201>

Аннотация. В статье рассматривается влияние комплексной химико-термической обработки (КХТО) стальных изделий, включающей в себя цементацию, диффузионное насыщение хромом и закалку на коррозионную стойкость стальных изделий в 30% водном растворе HCl и 3 % NaCl. В качестве обрабатываемых материалов использовались стали Ст3, 40X, 40X13, 20X13. Было выявлено, что КХТО позволяет получать покрытия толщиной от 7 до 27 мкм, при этом микротвердость поверхности покрытых образцов достигает 24000 МПа в зависимости от температуры КХТО. Было выявлено, что на скорость коррозии влияет элементный состав покрываемого материала, режимы КХТО, состав коррозионно-активной среды. Проведение испытаний образцов выявило, что стали без покрытий имеют более низкую коррозионную стойкость, чем материалы, подвергнутые КХТО. При этом скорость коррозии материалов снижается пропорционально увеличению содержания хрома и снижению содержания углерода в покрываемом материале. Наиболее эффективно скорость коррозии снижается в среде NaCl. Так, скорость коррозии образцов, изготовленных из стали Ст3, снизилась в 11,6 раз, из стали 40X – в 8,22 раза, 40X13 – в 4,56 раза, 20X13 – в 4,1 раз. В 30% водном растворе HCl скорость коррозии образцов, изготовленных из стали Ст3, снизилась в 4,6 раз, из стали 40X – в 4,4 раза, 40X13 – в 3,99 раз, 20X13 – в 3,84 раза. Также было выявлено, что на коррозионную стойкость оказывает влияние температура КХТО. Так, при температуре КХТО 1000 °С скорость коррозии в 3 % NaCl составляла 0,08 г/(м²*час). При увеличении температуры до 1070 °С скорость коррозии уменьшалась до 0,059 г/(м²*час). Аналогично температура КХТО влияла и на другие исследуемые материалы.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, хром, карбид, коррозионная стойкость, диффузия, сталь.

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта № НИП-20.1/22.17.

Для цитирования: Соколов А. Г., Бобылёв Э. Э., Марченко В. Д. Влияние комплексной химико-термической обработки на коррозионную стойкость стальных изделий // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 238–244. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.032. EDN: <https://elibrary.ru/CUJOGЕ>.

Original article

COMPLEX THERMAL-CHEMICAL TREATMENT INFLUENCE TO CORROSION RESISTANCE OF STEEL PRODUCTS

Aleksandr G. Sokolov¹, Eduard E. Bobilyov², Viacheslav D. Marchenko³

^{1, 2, 3} Kuban state technological university, Krasnodar, Russia

© Соколов А. Г., Бобылёв Э. Э., Марченко В. Д., 2023

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

¹ sag-51@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8105-1429>

² ebobylev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7754-1807>

³ mwsat79@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3514-0201>

Abstract. The article examines the effect of complex chemical-thermal treatment (CTT) of steel products, including cementation, diffusion saturation with chromium and quenching on the corrosion resistance of steel products in a 30% aqueous solution of HCl and 3% NaCl. St3, 40X, 40X13, 20X13 steels were used as processed materials. It was found that the CTT allows to obtain coatings with a thickness of 7 to 27 microns, while the microhardness of the coated samples surface reached 24,000 MPa, depended on the temperature of the CTT. It was found that the rate of corrosion is affected by the elemental composition of the material, CTT modes, the composition of the corrosive medium. The testing of samples revealed that uncoated steels have lower corrosion resistance than materials subjected to CTT. At the same time, the corrosion rate of materials decreased in proportion to the increase in the chromium content in and the decrease in the carbon content in the coated material. The corrosion rate was reduced most effectively in the NaCl environment. Thus, the corrosion rate of samples made of St3 steel decreased by 11.6 times, from 40X steel by 8.22 times, 40X13 by 4.56 times, 20X13 by 4.1 times. In a 30% aqueous HCl solution, the corrosion rate of samples made of St3 steel decreased by 4.6 times, from 40X steel by 4.4 times, 40X13 by 3.99 times, 20X13 by 3.84 times. Also, it was found that the corrosion resistance is influenced by the temperature of the CTT. Thus, at a temperature of 1000°C, the corrosion rate in 3 % NaCl was 0.08 g/(m²* hour). With an increase in temperature to 1070°C, the corrosion rate decreased to 0.059 g/(m²*hour). Similarly, the temperature of the CTT affected other materials under study.

Keywords: *thermal-chemical treatment, chromium, carbide, corrosion resistance, diffusion, steel.*

Acknowledgements: the research was carried out with the financial support of the Kuban Scientific Foundation within the framework of the scientific and innovative project No. NIP-20.1/22.17.

For citation: Sokolov, A.G., Boblyov, E.E., Marchenko, V.D. (2021). Complex thermal-chemical treatment influence to corrosion resistance of steel products. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 238-244. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.032. <https://elibrary.ru/CUJOGE>.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных проблем для современного машиностроения является улучшение характеристик стальных изделий методами поверхностного упрочнения [1–3]. В связи с этим, разработано достаточно большое количество технологий, обеспечивающих повышение износостойкости, коррозионной стойкости, прочности, пластичности и других характеристик изделий с помощью нанесения покрытий [4–6]. Одним из методов, позволяющих формировать покрытия, обеспечивающие одновременное повышение твердости поверхностных слоев и их коррозионной стойкости, является химико-термическая обработка (ХТО).

Известны такие технологии ХТО, как цементация, азотирование, нитроцементация, борирование, хромирование и т.д. [7–8]. При этом технологии ХТО можно разделить на две группы: 1) технологии, которые оказывают основное влияние на поверхностный слой изделия (например, азотирование), не позволяя получать диффузионные слои большой толщины; 2) технологии, позволяющие повысить одну характеристику, при этом, снижая другую (например, при цементации увеличивается твердость, но снижается коррозионная стойкость). Одной из перспектив-

ных технологий ХТО является комплексная ХТО (КХТО), заключающаяся в совмещении цементации и диффузионного легирования в среде легкоплавких жидкометаллических растворов (ДЛЛЖР) [3, 4, 9–11]. Технология ДЛЛЖР основана на явлении изотермического, селективного переноса элементов покрытия, растворенных в легкоплавком расплаве, на поверхность изделия с последующим диффузионным взаимодействием элементов покрытия с основным материалом изделия [4].

В качестве элемента-диффузанта, позволяющего существенно повысить микротвердость покрытия за счет получения карбидных фаз, при этом обладая достаточно высокой способностью к пассивации в коррозионно-активных средах, является хром. Несмотря на то, что для увеличения коррозионной стойкости, как правило, применяют покрытия, содержание в составе никель, их главным недостатком является более низкая твердость, и как следствие – износостойкость, что ограничивает область их применения в деталях, работающих в условиях интенсивного износа.

Целью данной работы является анализ коррозионной стойкости покрытий на конструкционных сталях.

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

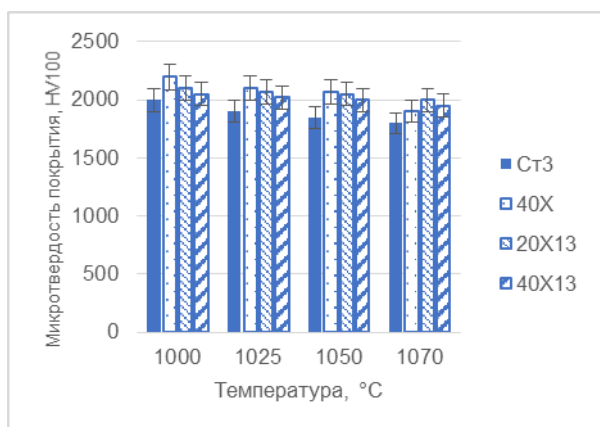


Рисунок 2 – Микротвердость покрытий после КХТО

Figure 2 – Microhardness of coating

Основным элементом, формирующим покрытие, является хром, при этом, высокая микротвердость обеспечивается формированием карбидов хрома. На рисунке 3 представлены карты распределения элементов после КХТО стали Ст3.

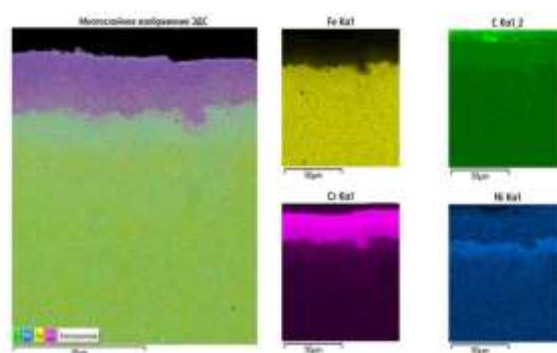
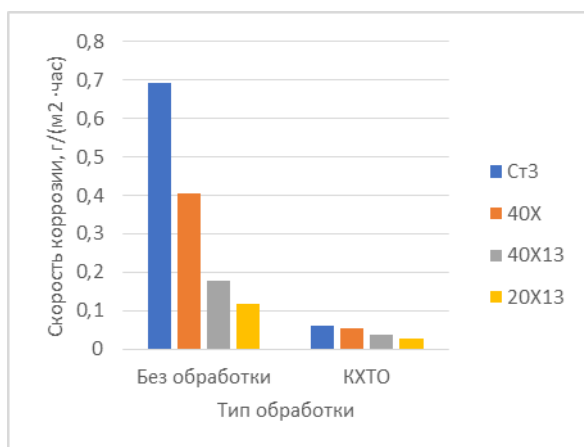


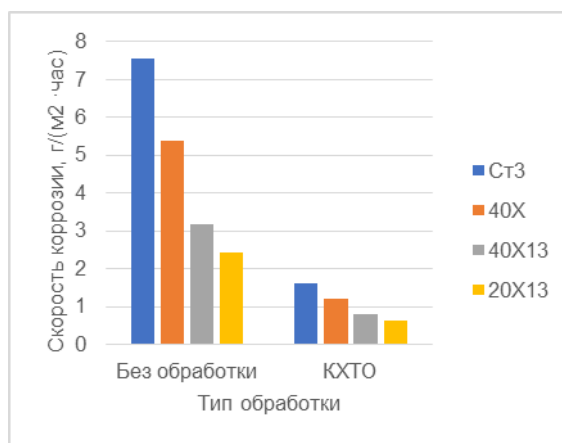
Рисунок 3 – Карты распределения элементов в диффузионном покрытии

Figure 3 – EDS of diffusion coating

Проведение испытаний образцов выявило, что стали без покрытий имеют более низкую коррозионную стойкость, чем материалы, подвергнутые КХТО. При этом скорость коррозии материалов снижается пропорционально увеличению содержания хрома в образце и снижению содержания углерода.



а)



б)

Рисунок 4 – Скорость коррозии: а) 3% NaCl; б) 30% HCl

Figure 4 – Corrosion rate: а) 3% NaCl; б) 30% HCl

Как следует из представленных данных, КХТО позволяет снизить скорость коррозии рассматриваемых сталей. Более эффективно скорость коррозии снижается в NaCl. Так, скорость коррозии для стали Ст3 снизилась в 11,6 раз. Для остальных рассматриваемых образцов также наблюдается снижение скорости коррозии, при этом скорость коррозии для разных материалов различна. Для материалов, изначально обладающих более высокой коррозионной стойкостью, снижение скорости коррозии проявляется в меньшей степени. В растворе соляной кислоты рас-

сматриваемые покрытия также позволяют снизить скорость коррозии, однако в более агрессивной среде защитные свойства покрытия несколько ниже. Так, в растворе HCl скорость коррозии стали Ст3 снизилась в 4,66 раз. На рисунке 3 представлены фотографии поверхности образцов после испытаний в течение 720 часов стали 40Х в растворе NaCl. На образце без покрытия наблюдаются трещины и присутствие продуктов коррозии, на образце с покрытием значительных следов коррозионного поражения не обнаружено.

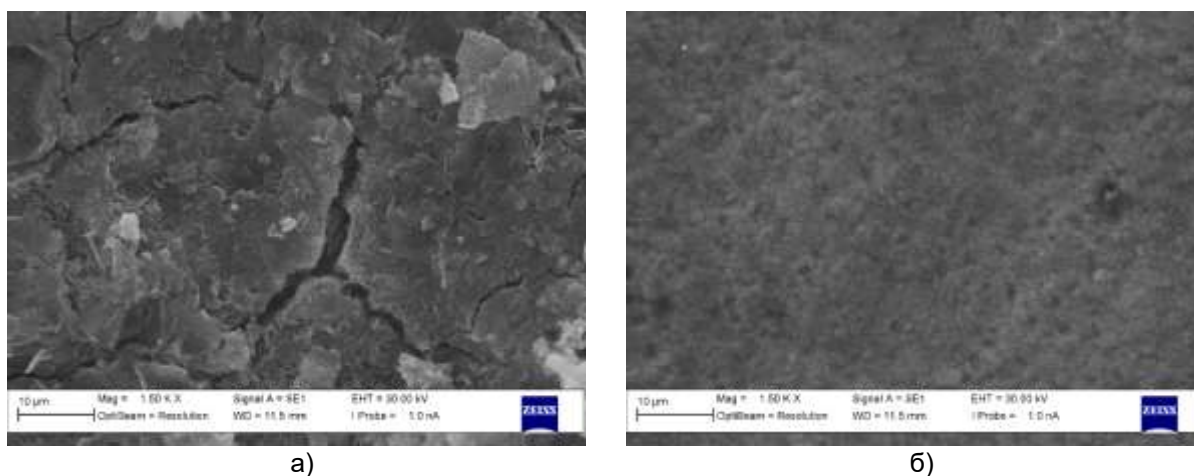


Рисунок 5 – Поверхность стали 40X после испытаний в NaCl

Figure 5 – The surface of 40X steel after testing into NaCl

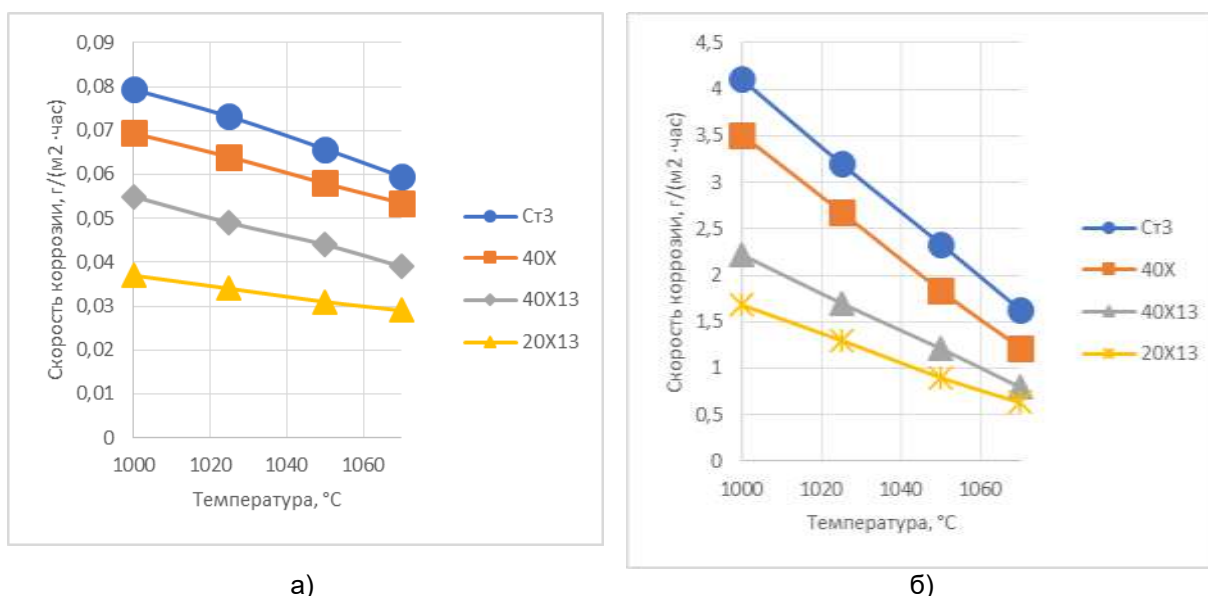


Рисунок 6 – Изменение скорости коррозии в зависимости от температуры КХТО: а) 3% NaCl; б) 30% HCl

Figure 6 – The change in the corrosion rate depending on the temperature: a) 3% NaCl, b) 30% HCl

Как показали исследования, на скорость коррозии также влияет элементный состав покрываемых материалов. После нанесения покрытия на материалы, содержащие в своем составе большее количество хрома, показали меньшую скорость коррозии и после нанесения покрытия. Так, скорость коррозии стали Ст3 с диффузионным покрытием в HCl составила 1,626 г/(м²·час) в то время, как скорость коррозии стали 20X13 составила 0,63 г/(м²·час).

Необходимо отметить, что значительное влияние на скорость коррозии оказывают влияние режимы КХТО. Для выбранного диапазона температур зависимость носит практически линейный характер.

Представленные зависимости показывают, что повышение температуры КХТО положительно сказывается на коррозионной стойкости покрытий. Подобное влияние температуры объясняется тем, что при повышении температуры интенсифицируется диффузия хрома в поверхностные слои покрываемого материала, что приводит к увеличению его концентрации в покрытии, и как следствие – повышению сопротивлению коррозии.

Таким образом, технология КХТО может применяться для формирования покрытий, обладающих высокой микротвердостью, при этом способствующих увеличению коррозионной стойкости образцов в среде NaCl в 11,6 раз, в среде HCl в 4,6 раз.

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

ВЫВОДЫ

1. КХТО позволяет сформировать покрытие на поверхности конструкционных сталей, обладающие высокой микротвердостью.
2. КХТО позволяет снизить скорость коррозии сталей в среде NaCl: для стали Ст3 в 11,6 раз, 40Х – в 7,5 раз, 40Х13 – в 4,5 раза, 20Х13 – в 4,1 раз.
3. КХТО позволяет снизить скорость коррозии сталей в среде HCl: для стали Ст3 в 4,64 раз, 40Х – в 4,4 раз, 40Х13 – в 3,99 раза, 20Х13 – в 3,84 раза.
4. При увеличении температуры КХТО происходит снижение скорости коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние термической обработки на структуру и свойства покрытий, полученных наплавкой литыми прутками. Пломодьяло Р.Л., Назарько А.С., Штоколов С.С. Сварка и диагностика. 2021. № 1. С. 37–40.
2. Optimization of cast rods' composition for corrosion-resistant facing of sealing surfaces of clamp seal urea service valves. Nazarko A., Plomodualo R. В сборнике : Materials Today: Proceedings. Сер. «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2020, ICMTMTE 2020» 2021. С. 1669–1671.
3. Sokolov A.G., Bobylyov E.E. Features and regularities in formation of diffusion nickel-copper coatings on steels in the medium of low-melting liquid-metal solutions // CIS Iron and Steel Review. Vol. 23 (2022), pp. 56–60.
4. Бобылёв Э.Э. Повышение эксплуатационных свойств режущего твердосплавного инструмента за счет диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических расплавов : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2020. 22 с.
5. Vikrant Singh, Anil Kumar Singla, Anuj Bansal. Impact of HVOF sprayed Vanadium Carbide (VC) based novel coatings on slurry erosion behaviour of hydro-machinery SS316 steel / Tribology International. Vol. 176. 2022. 107874. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107874>.
6. Xiang Hou, Hao Wang, Qun Yang, Yanxia Chen, Linjiang Chai, Bo Song, Ning Guo, Shengfeng Guo, Zhongwen Yao. Microstructure and properties of Cr-AlN composite coating prepared by pack-cementation on the surface of Al-containing ODS steel / Surface and Coatings Technology. Vol. 447. 2022. 128842. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128842>.
7. Chaochao Ji, Qiaoqin Guo, Jianping Li, Yongchun Guo, Zhong Yang, Wei Yang, Dapeng Xu, Bo Yang. Microstructure and properties of CrN coating via multi-arc ion plating on the valve seat material surface / Journal of Alloys and Compounds. Vol. 891. 2022. 161966. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161966>.
8. Mengdi Zhang, Xinliang Shi, Ziyang Li, Han-

qing Xu. Enhanced corrosion and wear resistance of gradient graphene-CrC nanocomposite coating on stainless steel / Carbon. Vol. 174. 2021. pp. 693-709. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.12.007>.

9. Соколов А.Г., Бобылёв Э.Э. Повышение износостойкости изделий из аустенитных сталей путем совмещения технологий цементации и диффузионного легирования в среде легкоплавких жидкометаллических расплавов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2020. 13(4). С. 502–511. DOI: 10.17516/1999-494X-0241.

10. Соколов А.Г., Бобылёв Э.Э., Пломодьяло Р.Л. Влияние цементации на структуру и свойства функциональных диффузионных покрытий на базе карбида титана на твердых сплавах типа ТК и ВК. Письма о материалах. 2020. Т. 10. № 4. С. 410–415.

11. Устройство для диффузионной металлизации в среде легкоплавких жидкометаллических растворов пат. 2767108 Рос. Федерация № 2021114415 ; заявл. 20.05.2021; опубл. 16.03.2022, Бюл. № 8. 9 с.

Информация об авторах

А. Г. Соколов – доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении» Кубанского государственного технологического университета.

Э. Э. Бобылёв – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении» Кубанского государственного технологического университета.

В. Д. Марченко – магистрант 2 курса кафедры «Инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении» Кубанского государственного технологического университета.

REFERENCES

1. Plomod'yalo, R.L., Nazarko, A.S., Shtokolov, S.S. (2021). The effect of heat treatment on the structure and properties of coatings obtained by surfaced cast rods. *Welding and diagnostics*, (1), 37-40 (In Russ.).
2. Optimization of cast rods' composition for corrosion-resistant facing of sealing surfaces of clamp seal urea service valves. Nazarko A., Plomodualo R. В сборнике: Materials Today: Proceedings. Сер. «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2020, ICMTMTE 2020» 2021. С. 1669-1671.
3. Sokolov, A.G., Bobylyov, E.E. Features and regularities in formation of diffusion nickel-copper coatings on steels in the medium of low-melting liquid-metal solutions // CIS Iron and Steel Review. Vol. 23 (2022), pp. 56-60.
4. Бобылёв, Э.Э. (2020). Increasing the operational properties of the cutting carbide tool due to dif-

fusion metallization from the medium of low-melting liquid-metal melt. Extended abstract of candidate's thesis. Novocherkassk. (In Russ.).

5. Vikrant Singh, Anil Kumar Singla, Anuj Bansal. Impact of HVOF sprayed Vanadium Carbide (VC) based novel coatings on slurry erosion behaviour of hydro-machinery SS316 steel/ Tribology International. Vol. 176. 2022. 107874. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107874>.

6. Xiang Hou, Hao Wang, Qun Yang, Yanxia Chen, Linjiang Chai, Bo Song, Ning Guo, Shengfeng Guo, Zhongwen Yao. Microstructure and properties of Cr-AlN composite coating prepared by pack-cementation on the surface of Al-containing ODS steel / Surface and Coatings Technology. Vol. 447. 2022. 128842. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128842>.

7. Chaochao Ji, Qiaoqin Guo, Jianping Li, Yongchun Guo, Zhong Yang, Wei Yang, Dapeng Xu, Bo Yang. Microstructure and properties of CrN coating via multi-arc ion plating on the valve seat material surface / Journal of Alloys and Compounds. Vol. 891. 2022. 161966. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161966>.

8. Mengdi Zhang, Xinliang Shi, Ziyang Li, Hanqing Xu. Enhanced corrosion and wear resistance of gradient graphene-CrC nanocomposite coating on stainless steel / Carbon. Vol. 174. 2021. pp. 693-709. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.12.007>.

9. Sokolov A.G., Bobylyov E.E. Increase of durability of austenitic steel by overlap of carburization and diffusion saturation from liquid metal medium solutions technologies, J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2020, 13(4), 502-511. DOI: 10.17516/1999-494X-

0241.

10. Sokolov, A.G., Bobylyov, E.E., Plomod'ialo, R.L. Influence of carburization on the structure and properties of functional diffusion coatings based on titanium carbide on TiC-WC-Co and WC-Co alloys. Lett. Mater., 2020, 10(4) 410-415.

11. Sokolov, A.G., Popov, R.A., Bobylyov E.E., Storozhenko, I.D. (2021). Device for diffusion metallization in the medium of low-melting liquid metal solutions. Pat.2767108. Russian Federation, published on 16.03.2022. Bull. No. 8. (In Russ.).

Information about the authors

A.G. Sokolov - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Engineering of control systems, materials and technologies in mechanical engineering» of the Kuban State Technological University.

E.E. Bobylyov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Engineering of control systems, materials and technologies in mechanical engineering» of the Kuban State Technological University.

V.D. Marchenko - master's student of the Department of «Engineering of control systems, materials and technologies in mechanical engineering» of the Kuban State Technological University.

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

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аверьянова Е. В.	7	Матвеев Ю. И.	7
Аёшина Е. Н.	53	Медведев А. А.	163
Алёшин В. Н.	83	Мелёшкина Л. Е.	34, 123
Бакин И.А.	21	Мельникова Е. В.	53
Бекешева А.А.	65	Меренкова С. П.	58
Белина С.А.	41	Мерзлякова Н. В.	150
Бобылёв Э. Э.	238	Михайлова О. Ю.	129
Борисова А. В.	156	Наумова Н. Л.	101
Борисова Р. В.	185	Неверов Е. Н.	215
Бохоева Л. А.	191	Нестеров В. А.	226
Боченков А. С.	226	Ободеева О. Н.	47
Бухалова Г. Р.	197	Охлопкова А. А.	185
Велисеевич Е. А.	101	Пелеганчук Ю. А.	163
Величко Н. А.	53	Першакова Т. В.	83
Вернер А. В.	142	Пестова И. Г.	150
Вистовская В. П.	134	Пужайкина А. Е.	226
Волончук С. К.	107	Резниченко И.Ю.	76
Гаспарян Ш.В.	21	Рогов В. Е.	191
Горелкина А. Н.	215	Рубцова Л. Н.	203
Гращенков Д. В.	142	Рядинская А. А.	115
Дикалова Е. С.	134	Севостьянова Е.М.	92
Доровских Р. С.	226	Соколов А. Г.	238
Дубинина Е. В.	47	Сомин В. А.	210
Затонская Л. В.	197	Сорокин В. В.	203
Захарова А. С.	34, 123	Станкевич С. В.	107
Зинина О. В.	58	Стопорева Т.А.	163
Зубова Н. Г.	177	Стурова Ю. Г.	163
Каменская Е. П.	134	Схаплок Р. Ю.	215
Капитонова Ю. В.	185	Тагиева Н. Э.	156
Касьяненко Е. Ф.	203	Тарасова П. Н.	185
Кожемякин Д. С.	134	Тихонов С. Л.	150
Кольтюгина О. В.	163	Тихонова Н. В.	150
Комарова Л. Ф.	210	Туисов А. Г.	185
Конева С. И.	34, 123	Ульянова Е. В.	47
Коццаев И. А.	115	Федотов А. А.	156
Крикунова Л. Н.	47	Чекрыга Г. П.	107
Купин Г. А.	83	Чугунова О.В.	65
Лавриненко К. В.	115	Чуев С. А.	115
Лазарева Н. Н.	185	Шалунов А. В.	226
Лукин А. А.	101	Шилкин А.А.	92
Лукьяненко А. П.	210	Шматов А. А.	170
Мазалевский В. Б.	107	Шун Чи Мэй	170
Макарова А.А.	21	Яковлева Т. В.	83
Макарова Г. А.	129	Якубова О.С	65
Марченко В. Д.	238	Яшкин А. И.	13

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объемом 5 страниц (по согласованию с редакцией, допускаются статьи объемом от 3 до 10 страниц), имеющая индекс УДК, аннотацию и ключевые слова на русском языке, перевод метаданных статьи на английский язык, сведения об авторах (учёной степени, звания и места работы, e-mail и идентификаторе ORCID).

Работы принимаются в текстовом редакторе Microsoft Word.

Во вкладке «Разметка страницы»: используется *размер бумаги формата А4, ориентация листа книжная. Поля: верхнее – 3,5 см; нижнее – 2,5 см; левое – 2,5 см; правое – 2,5 см; переплет – 0 см*; В диалоге «Колонки» – «Другие колонки» выбирается расположение текста в "две" колонки, устанавливается *ширина колонок – 7,65 см, промежуток между ними – 0,7 см*. В диалоге «Расстановка переносов» выбирается "авто".

Во вкладке «Вставка» выбирается «Верхний колонтитул» – «Пустой», далее появляется вкладка «Конструктор», включаются «Особый колонтитул для первой страницы» и «Разные колонтитулы для четных и нечетных страниц». Колонтитулы от края: *верхний – 2,0 см; нижний – 2,0 см*.

Структура статьи в обязательном порядке должна содержать:

- Тип статьи (научная статья, обзорная статья), научная специальность, индекс УДК и doi (размещение в левом верхнем углу документа, каждая запись на отдельной строке, без точек).

- Названия статей набираются прописными буквами (шрифт «Arial», размер шрифта текста – 14 пунктов, полужирный) по центру документа.

- Имена, отчества и фамилии авторов размещаются под названием статьи (шрифт «Arial», размер шрифта текста – 12 пунктов), над фамилией ставят надстрочную цифру, по порядку, ниже все надстрочные цифры расшифровываются (сведения о месте работы, город, страна, адрес электронной почты и идентификатор ORCID авторов).

- Аннотацию формируют по ГОСТ Р 7.0.99. Объем аннотации от 150 до 250 слов. Перед аннотацией приводят слово «Аннотация» («Abstract»). Шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный». Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), оригинальной, отражать основное содержание статьи и результаты исследования (обоснование, предмет, цель работы, метод или методологию проведения работы, область применения результатов, выводы).

- Перед ключевыми словами приводят слово «Ключевые слова» («Keywords») Количество ключевых слов или словосочетаний от 10 до 15. (шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

- После ключевых слов могут быть приведены слова благодарности организациям, учреждениям, руководителям, могут быть приведены сведения о проектах, научно-исследовательских работах, финансировании и т.п. Эти сведения приводят с предшествующим словом «Благодарности» («Acknowledgements») (шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

- Далее отделяют чертой строку и ниже пишут «Для цитирования» («For citation»), после вставляют библиографическую запись на статью для дальнейшего цитирования (составляют по ГОСТ Р.7.0.5-2008). После записи отделить чертой данный текст.

- После записи всех метаданных статьи на русском языке необходимо привести все метаданные на английском языке (отчества сокращают до буквы в английском языке).

- Основной текст (для основной части текста используется шрифт «Arial», размер шрифта основного текста – 10 пунктов, красная строка (отступ) – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

Структура основного текста статьи:

- 1) **Введение** – в этом разделе описывается существующая научная проблема и представляется краткий литературный обзор по состоянию обозначенной проблемы.

- 2) **Методы / методология / методика исследований** – приводится теория или методика экспериментального исследования, приводится обоснование выбора данного материала и методов исследования.

- 3) **Результаты и их обсуждение** – раздел содержит краткое описание полученных теоретических или экспериментальных результатов. Результаты рекомендуется излагать в прошедшем времени. В обсуждении рекомендуется объяснить значимость вашего исследования. Показать, какие знания были получены результате исследования, обозначить их перспективы и сравнить их с существующим положением в данной области, описанным в разделе «Введение». Данные должны быть систематизированы и иметь логическую связь с текстом.

- 4) **Выводы** – этот раздел рекомендуется начать с нескольких фраз, подводящих итог проделанной работе, а затем в виде списка представляются основные выводы.

- 5) **Список литературы** (шрифт «Arial», размер – 9 пунктов) – не менее 10 позиций, оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

- Сведения об авторах приводится после списка литературы, с предшествующими словами «Информация об авторах» - инициалы, фамилия — учёная степень, звание, место работы, телефон);

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

- После приводят список литературы на латинице (REFERENCES) согласно стилю APA (American Psychological Association - <https://apastyle.apa.org>). Нумерация записей в дополнительном перечне должна совпадать с нумерацией записей в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

- Ниже приводятся сведения об авторах на английском языке после слов «Information about the authors».

- В конце статьи авторы должны указать об отсутствии или наличии конфликта интересов.

Для создания формул и таблиц используются встроенные возможности Microsoft Word. Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Microsoft Word или другими программами и вставляются в нужное место документа, название таблиц и рисунков дублируются на английском языке.

Размеры рисунков не должны превышать границы полей страницы основного текста документа с учетом подрисуночной подписи. Рисунки издательством не редактируются. Если рисунок по ширине превышает размер колонки, то необходимо ставить перед ним и после него разрыв раздела на текущей странице и располагать рисунок в начале или в конце страницы.

Рисунки, надписи и объекты Microsoft Word должны перемещаться вместе с текстом, т.е. быть не поверх текста.

Шаблон для оформления статьи можно скачать на сайте журнала: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>.

К статье необходимо предоставлять следующие документы: **экспертное заключение, согласие каждого автора на размещение статьи, согласие на обработку персональных данных.**

К публикации принимаются статьи, **ранее нигде не опубликованные** и не представленные к печати в других изданиях. Статьи, отбираемые для публикации в журнале, проходят двухстороннее слепое рецензирование. Автор статьи имеет право предложить двух рецензентов по научному направлению своего исследования.

Публикации в журнал принимаются на русском и английском языках.

Электронная версия публикации должна быть отправлена в формате текстового редактора Microsoft Word (расширения .doc, .docx) по электронной почте по адресу polz_journal@mail.ru. Название файла формируется из фамилии и инициалов первого автора (к примеру, «ИвановАА.doc»). Если статей несколько, то к названию файла через знак подчеркивания добавляется порядковый номер (к примеру, «ИвановАА_1.doc»).

Все статьи будут проверены в системе «Антиплагиат», при оригинальности менее 75 % статьи будут возвращены авторам.

Контактная информация:

Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46, 119 ГК, почтовый индекс: 656038.

Стопорева Татьяна Александровна – тел.: 8 (3852) 290946, e-mail: polz_journal@mail.ru.

Подписано в печать 02.10.2023. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.

Усл. п. л. 28,71 Тираж 100 экз. Заказ 2023 – 32.

Отпечатано в типографии АлтГТУ им. И. И. Ползунова

Адрес типографии: 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46

АлтГТУ им. И.И. Ползунова
656038 г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, каб. 119 главного корпуса
тел. +7 (3852) 29-09-46
сайт: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest/>
e-mail: polz_journal@mail.ru
Дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доцент кафедры ТИАрх