



# ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

№ 3  
2022



# Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

Регистрационный номер ПИ № ФС 77-75624  
выдано 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 2022 г.

Научный журнал  
входит в перечень ВАК

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

## ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Сакович Г. В.**, академик РАН (г. Бийск)  
**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., зав. каф. «Технологии металлов и авиационного материаловедения»  
Самарского университета (г. Самара)  
**Щетинин М. П.**, д.т.н., проф., проректор по научной работе МГУПП (г. Москва)  
**Тамова М. Ю.**, д.т.н., проф., зав. каф. «Общественного питания и сервиса» КубГТУ (г. Краснодар)  
**Попов В. Г.**, д.т.н., доц., зав. каф. «Товароведение и технологии продуктов питания» ТИУ (г. Тюмень)  
**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 16.09.2022 г.  
Цена 600 рублей.



**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, Samara University, Samara, 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 16.09.2022



# СОДЕРЖАНИЕ

## РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

- А. В. Акинфеева, Е. Ю. Егорова, С. Н. Цыганок*  
**Обоснование технологических параметров получения белковых эмульсий из ядра семян подсолнечника** .....7
- Н. К. Шелковская, Е. П. Каменская, Е. С. Дикалова, М. Н. Колесниченко*  
**Влияние ферментных препаратов на показатели качества сброженных соков рябины черноплодной** .....14
- Т. А. Дроздова, Н. М. Агеева, М. В. Поспелов*  
**Исследования влияния термических обработок на показатели качества игристых вин** .....22
- Н. С. Санжаровская, Д. В. Романенко, М. К. Рзаева*  
**Целесообразность использования полбяной муки и свекловичных волокон в технологии мучных кондитерских изделий** .....28
- К. Р. Романцова, Л. Е. Мелёшкина*  
**Исследование и разработка хлебобулочных изделий с амарантовой мукой и цикорием** .....37
- С. С. Кузьмина, Л. А. Козубаева, Е. Ю. Егорова*  
**Эффективность применения дезинтегратора в мукомольном производстве** ....43
- В. П. Тарасов, А. В. Тарасов*  
**Анализ особенностей нагнетающих систем пневмотранспорта с приводными питателями при их работе в переходных и неустановившихся режимах** .....50
- Л.А. Козубаева, С.С. Кузьмина*  
**Печенье с арахисом для безглютенового питания** ..... 58
- Г. А. Макарова, О. Ю. Михайлова*  
**Оценка качества натуральных соков из интродуцированных сортов винограда с темной окраской ягод** .....65
- Е. С. Серебренникова, Л. В. Анисимова*  
**Качество муки из зерна сорго и реологические свойства теста из смеси пшеничной и сорговой муки** .....71
- М. А. Вайтанис, З. Р. Ходырева*  
**Исследование свойств фаршевых систем из смеси говядины и свинины с растительным сырьем** .....81
- С. К. Волончук, К. Н., Нициевская, С. В. Станкевич*  
**Влияние ультразвукового воздействия на биохимический состав суспензии подсолнечного жмыха и молочной сыворотки** ..... 88
- С. И. Конева, А. С. Захарова*  
**Влияние условий дефростации замороженных полуфабрикатов из многокомпонентных смесей на качество готовых изделий** ..... 95
- А. А. Трофимова, В. Г. Попов, В. Ю. Неверов*  
**Разработка технологии изготовления комплексной пищевой добавки с изготовлением кондитерского функционального продукта на ее основе** ..... 101
- О. В. Чугунова, А. В. Вяткин, А. В. Арисов, Е. М. Чеботок*  
**Исследование антиоксидантного комплекса перспективных и районированных в Свердловской области сортов крыжовника** ..... 108
- Е. В. Кравцова, А. Г. Новоселов, А. Ю. Кузнецов, Ю. Н. Гуляева*  
**Анализ процессов и аппаратов, реализующих технологические стадии производства пива** ..... 117
- Э. Р. Эминова, М. А. Хашим, О. Ф. Лунёва, А. В. Жернякова, Д. А. Бараненко*  
**Исследование содержания фенольных соединений в экстрактах семян брокколи**..... 123
- В. А. Иванов, Е. В. Лис, Е. В. Фибих, Ю. С. Шимова*  
**Исследование технологических факторов при переработке плодов калины обыкновенной** ..... 130
- В. Г. Попов, С. В. Кузьмин, И. В. Мозжерина*  
**Разработка высокобелковых чипсов с использованием нетрадиционного сырья Тюменской области**..... 136
- Н. Т. Шамкова, О. В. Руденко, М. Ю. Тамова, А. А. Варивода, Т. В. Яковлева*  
**Обоснование технологического режима бланширования полуфабрикатов из клубней топинамбура для приготовления экоснеков**..... 144

*А. Андреева, М. В. Шабунина*  
**Исследование влияния сиропа клевера лугового на сдобные хлебобулочные изделия**.....152

*Д. А. Кашолкина, М. А. Болгова, Н. Л. Клейменова, М. В. Копылов, И. Н. Болгова*  
**Исследование витаминного состава расторопши пятнистой** .....160

*Н. А. Ермошин, С. А. Романчиков, С. В. Буланов*  
**Оценка ремонтпригодности теплогенерирующих устройств технологического оборудования пищевых производств**... 166

*Д. В. Минаков, Я. В. Уразова, А. А. Минакова*  
**Скрининг и исследование продуцентов молокосвертывающих ферментов среди культур высших базидиальных грибов** ..... 173

---

## **РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ**

---

*В. Б. Маркин*  
**Гибридные композиты с двухосновным связующим**.....181

*И. В. Мацкевич, В. Н. Невзоров, Ж. А. Кох*  
**Совершенствование технологии производства эфирного масла из можжевельника**.....186

*Л. Ю. Александрова, П. Г. Ганин, А. В. Маркова, А. И. Мошинский, Л. Н. Рубцова, В. В. Сорокин*  
**Исследование уравнений ячеечной структуры потоков в процессах и аппаратах химической технологии**.....194

*Д. В. Комаров, С. В. Коновалов, Д. В. Жуков, И. С. Виноградов, И. А. Панченко*  
**Анализ современной ситуации в области применения электронно-пучковой обработки различных сплавов. Часть 2** ..... 204

*О. С. Беушева, Н. В. Коренева, А. А. Беушев*  
**Изучение влияния морфологической структуры древесины на эксплуатационные характеристики плитного материала**..... 216

*Е. М. Готлиб, Е. С. Ямалеева, А. Р. Валеева, А. Р. Гимранова, Р. Ш. Нцуму*  
**Влияние наполнителей, полученных на основе отходов переработки зерна, на химическую стойкость эпоксидных материалов**..... 222

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ** ..... 230

# CONTENTS

## SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

<i>A. V. Akinfeeva, E. Yu. Egorova, S. N. Tsyganok</i> <b>Substantiation of technological parameters for obtaining protein emulsions from sunflower seed kernels</b> .....7	<i>S. K. Volonchuk, K. N. Nicievskaya, S. V. Stankevich</i> <b>Effect of ultrasonic exposure on biochemical composition of sunflower cake and whey suspension</b> ..... 88
<i>N. K. Shelkovskaya, E. P. Kamenskaya, E. S. Dikalova, M. N. Kolesnichenko</i> <b>The influence of enzyme preparations on the quality indicators of fermented juices of chokeberry</b> .....14	<i>S. I. Koneva, A. S. Zakharova</i> <b>Effect of thawing conditions of frozen semi-finished products from multicomponent mixtures about the quality of finished products</b> ..... 95
<i>T. A. Drozdova, N. M. Ageeva, M. V. Pospelov</i> <b>Studies of the influence of heat treatments on the quality indicators of sparkling wines</b> .....22	<i>A. A. Trofimova, V. G. Popov, V. Y. Neverov</i> <b>Development of technology for the production of a complex food additive with the production of a functional confectionery product based on it</b> ..... 101
<i>N. S. Sanzharovskaya, D. V. Romanenko, M. M. Rzayeva</i> <b>Expediency of using spelt flour and beet fibers in the technology of flour confectionery</b> .....28	<i>O. V. Chugunova, A. V. Vyatkin, A. V. Arisov, E. M. Chebotok</i> <b>Research of the antioxidant complex of promising and regional varieties of goseberry in the Sverdlovsk region</b> ..... 108
<i>K. R. Romantsova, L. E. Meleshkina</i> <b>Research and development of bakery products with amaranth flour and chicory</b> ..37	<i>E. V. Kravtsova, A. G. Novoselov, A. Yu. Kuznetsov, Yu. N. Gulyaeva</i> <b>Analysis of processes and apparatuses that implement the technological stages of beer production</b> ..... 117
<i>S. S. Kuzmina, L. A. Kozubaeva, E. Yu. Egorova</i> <b>Efficiency of use of the disintegrator in flour production</b> .....43	<i>E. R. Eminova, M. A. Hashim, O. F. Lunyova, A. V. Zhernyakova, D. A. Baranenko</i> <b>Study of the phenolic compounds content in broccoli seed extracts</b> ..... 123
<i>V. P. Tarasov, A. V. Tarasov</i> <b>Analysis of the features of pneumatic transport injection systems with drive feeders during their operation in transient and unsteady modes</b> .....50	<i>V. A. Ivanov, E. V. Lis, E. V. Fibikh, Yu. S. Shimova</i> <b>Study of technological factors during processing of viburnum opulus fruits</b> ..... 130
<i>L. A. Kozubaeva, S. S. Kuzmina</i> <b>Peanut cookies for gluten-free nutrition</b> ....58	<i>V. G. Popov, S. V. Kuzmin, I. V. Mozzherina</i> <b>Development of high-protein chips using non-traditional raw materials of Tyumen region</b> ..... 136
<i>G. A. Makarova, O. Yu. Mikhailova</i> <b>Evaluation of the quality of natural juices from introduced grape varieties with dark berry color</b> .....65	<i>N. T. Shamkova, O. V. Rudenko, M. Yu. Tamova, A. A. Varivoda, T. V. Yakovleva</i> <b>Justification of the technological mode of blanching semi-finished products from jerusalem artichoke tubers for preparation of eco-snacks</b> ..... 144
<i>E. S. Serebrennikova, L. V. Anisimova</i> <b>Quality of sorghum flour and rheological properties of dough made from a mixture of wheat and sorghum flour</b> .....71	
<i>M. A. Vaytanis, Z. R. Khodyreva</i> <b>Investigation of the properties of minced meat systems from a mixture of beef and pork with vegetable raw materials</b> .....81	

*A. Andreeva, M. V. Shabunina*  
**The effect of the meadow clover syrup on the sweet yeast bakery products** ..... 152

*D. A. Kasholkina, M. A. Bolgova, N. L. Kley-  
menova, M. V. Kopylov, I. N. Bolgova*  
**Study of the vitamin composition of milk  
thistle** ..... 160

*N. A. Ermoshin, S. A. Romanchikov, S. V. Bulanov*  
**Evaluation of the maintainability of heat  
generating devices for technological equip-  
ment of food production** ..... 166

*D. V. Minakov, Ya. V. Urazova, A. A. Minakova*  
**Screening and research of producers of  
milk-coagulating enzymes among cultures of  
higher basidio-mycetes** ..... 173

---

## SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

---

*V. B. Markin*  
**Hybrid composites with bi-base binder** .. 181

*I. V. Matskevich, V. N. Nevzorov, Zh. A. Koch*  
**Improvement of juniper essential oil pro-  
duction technology** ..... 186

*L. Yu. Alexandrova, P. G. Ganin, A. V. Markova,  
A. I. Moshinsky, L. N. Rubtsova, V. V. Sorokin*  
**Investigation of the equations of the cell  
structure of flows in processes and apparatus  
of chemical engineering** ..... 194

*D. V. Komarov, S. V. Konovalov, D. V. Zhukov,  
I. S. Vinogradov, I. A. Panchenko*  
**Analysis of the current situation in the  
field of application of electron-beam pro-  
cessing of various alloys. Part 2** ..... 204

*O. S. Beusheva, N. V. Koreneva, A. A. Beushev*  
**Study of the influence of morphological  
structure wood for operational characteristics  
of the slab material** ..... 216

*E. M. Gotlib, E. S. Yamaleeva, A. R. Valeeva,  
A. R. Gimranova, R. Sh. Ntsoumou*  
**Influence of fillers produced on the basis  
of grain processing waste on the chemical re-  
sistance of epoxy materials** ..... 222

**AUTHOR'S INDEX** ..... 230



## РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья

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

УДК 664.38

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.001



### ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВЫХ ЭМУЛЬСИЙ ИЗ ЯДРА СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА

Анастасия Владимировна Акинфеева<sup>1</sup>, Елена Юрьевна Егорова<sup>2</sup>,  
Сергей Николаевич Цыганок<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup> akinfееva.ppp@mail.ru

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

<sup>3</sup> grey@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7832-3510>

**Аннотация.** Рост потребительского спроса на растительные аналоги молочных продуктов и напитков отмечается ежегодно. Одновременно с этой динамикой растет и заинтересованность производителей к разработке эффективных технологий получения такой продукции.

Подсолнечник – одна из основных сельскохозяйственных культур в Алтайском крае, характеризующаяся высокой урожайностью и отличающаяся от большинства масличных культур существенно более высоким содержанием растворимого белка. Целью работы являлось обоснование технологических параметров получения стабильных эмульсионных пищевых систем – аналогов молока и питьевого сливок – из семян подсолнечника. При выполнении исследований использовали воду питьевого качества и полножирную муку (мятку), приготовленную в лабораторных условиях из сырого и обжаренного ядра семян подсолнечника 2021 года сбора. Модельные системы подвергали обработке в ультразвуковом поле при температуре 70°C и частоте воздействия 22 кГц, изучены гидромодули 1:5...1:9. Контроль эффективности экстракции белка и суммы сухих веществ осуществляли стандартными методами; для оценки коллоидной стабильности эмульсий и отделения нерастворимых мелкодисперсных взвесей применяли центробежное воздействие.

При использовании мятки из сырого ядра семян подсолнечника не достигнута желаемая коллоидная стабильность получаемых коллоидных систем. Использование обжаренного ядра при гидромодуле 1:9 позволило получить коллоидно-стабильные эмульсии кремового цвета, содержащие до 2,5–3,0 % сухих веществ, в том числе от 1,0 % до 1,5 % белка, что сопоставимо с характеристиками представленных на потребительском рынке растительных аналогов питьевого молока.

**Ключевые слова:** пищевые технологии, эмульсионные напитки, получение эмульсий, ядро семян подсолнечника, ультразвуковая обработка, экстракция белка, стабильность эмульсий, размеры мицелл.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России на создание и развитие инжинирингового центра в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты».

**Для цитирования:** Акинфеева А. В., Егорова Е. Ю., Цыганок С. Н. Обоснование технологических параметров получения белковых эмульсий из ядра семян подсолнечника // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С.7 - 13. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.001. EDN: <https://elibrary.ru/lbmctp>.



Original article

## SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR OBTAINING PROTEIN EMULSIONS FROM SUNFLOWER SEED KERNELS

Anastasiya V. Akinfeeva<sup>1</sup>, Elena Yu. Egorova<sup>2</sup>, Sergey N. Tsyganok<sup>3</sup>

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> akinfeeva.ppp@mail.ru

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

<sup>3</sup> grey@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7832-3510>

**Abstract.** *The growth of consumer demand for vegetable analogues of dairy products and beverages is noted annually. Simultaneously with this dynamic, the interest of manufacturers in developing effective technologies for obtaining such products is also growing.*

*Sunflower is one of the main agricultural crops in the Altai Territory, characterized by high yields and differing from most oilseeds by a significantly higher content of soluble protein. The purpose of the work was to substantiate the technological parameters for obtaining stable emulsion drinking systems – analogues of milk and drinking cream – from sunflower seeds. When performing the research, drinking quality water and full-fat flour (mint) prepared in the laboratory from raw and fried sunflower seed kernels harvested in 2021 were used. The model systems were processed in an ultrasonic field at a temperature of 70 °C and the frequency of exposure of 22 kHz, the studied hydromodules are 1:5...1:9. Control of the efficiency of protein extraction and the amount of solids was carried out by standard methods; centrifugal action was used to assess the colloidal stability of emulsions and the separation of insoluble fine suspensions.*

*When using mint from the raw kernel of sunflower seeds, the desired colloidal stability of the resulting colloidal systems has not been achieved. The use of roasted kernels with a hydromodule of 1:9 allowed to obtain colloid-stable cream-colored emulsions containing up to 2.5-3.0 % of solids, including from 1.0 % to 1.5 % protein, which is comparable with the characteristics of vegetable analogues of drinking milk presented on the consumer market.*

**Keywords:** *food technologies, emulsion drinks, emulsions, sunflower seed kernel, ultrasonic processing, protein extraction, stability of emulsions, micelle sizes.*

**Acknowledgements:** *The research was carried out with the support of a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the creation and development of an engineering center within the framework of the federal project "Development of infrastructure for Research and Training" of the national project "Science and Universities".*

---

**For citation:** *Akinfeeva, A. V., Egorova, E. Yu. & Tsyganok, S. N. (2022). Substantiation of technological parameters for obtaining protein emulsions from sunflower seed kernels. Polzunovskiy vestnik, (3), 7-13. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.001.*

---

### ВВЕДЕНИЕ

Увеличение потребительского спроса на растительные аналоги молочных продуктов и напитков отмечается ежегодно. Одновременно с этим растет и заинтересованность производителей к разработке эффективных технологий получения растительных аналогов молочных продуктов [1, 2], и к настоящему времени отработаны технологии промышленного производства и приобрели определенную популярность у потребителей соевого, миндального, овсяного и другие виды растительных аналогов-заменителей молока.

Россия входит в тройку важнейших стран – производителей маслосемян подсолнечника, *Helianthus annuus L.* [3]. Это одна из основных сельскохозяйственных культур в Алтайском крае, характеризующаяся высокой урожайностью и имеющая хороший потенциал для использования в производстве аналогов молочных напитков. Ядро семян подсолнечника отличается от большинства масличных культур, включая многие виды орехов, существенно более высоким содержанием белка [4]. Так, содержание белка в составе ядра семян подсолнечника варьирует от 20 до 40 %, доля альбуминов и глобулинов оце-

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВЫХ ЭМУЛЬСИЙ ИЗ ЯДРА СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА

нивается в 38-40 % от суммы белковых веществ [5, 6]. Доля незаменимых аминокислот в белке подсолнечника составляет 30-45 % [7], в сорто типах современной селекции – ближе к 30 % от суммы белковых веществ, при этом скор лизина составляет около 70 % [8], а в ядре семян немасличных сортов подсолнечника его скор еще выше [3]. Основными антипитательными компонентами маслосемян подсолнечника являются фитиновая кислота и её соли, другие ингибиторы не выявлены [6].

Как ранее было установлено другими авторами, водо- и солерастворимые фракции белка ядра семян подсолнечника достаточно хорошо экстрагируются в нейтральной водной среде, для повышения эффективности их извлечения может быть предусмотрено использование водных растворов поваренной соли концентрацией 5 % [9].

В связи с вышесказанным, целью экспериментальных исследований стало обоснование технологических параметров получения стабильных эмульсий – аналогов молока и питьевых сливок – из ядра семян подсолнечника.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При выполнении исследований использовано ядро семян масличного подсолнечника 2021 года сбора. На разных этапах работы объектами исследований выступали: ядро семян подсолнечника, полученные из него мятка и белковые эмульсии.

Для получения белковых эмульсий в работе использовали воду питьевого качества и полножирную муку (мятку), приготовленную в лабораторных условиях из сырого и обжаренного ядра семян подсолнечника размолотом на лабораторной мельнице с последующим просеиванием через сито №1. Поскольку технология получения растительных аналогов молока не предполагает добавления в них более 1 % соли (а эффективность такой концентрации соли при экстракции белковых веществ из семян подсолнечника не отмечена [9]), в проводимом исследовании соль не использовали.

Образцы-суспензии, полученные смешиванием подсолнечной мятки и воды, предварительно нагретой до температуры 70 °С, подвергали обработке в ультразвуковом поле, генерируемом аппаратом «Волна» (модель УЗТА-0,4/22-ОМ) при частоте воздействия 22 кГц. Интенсивность воздействия составляла 16 Вт/см<sup>2</sup>. Изученные в работе гидромодули: 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9. Разовый обрабатываемый объем составил 250 см<sup>3</sup>, про-

должительность ультразвукового воздействия – 30...60 с.

Контроль показателей, характеризующих эффективность экстракции и качество полученных эмульсий, осуществляли с применением стандартных методик исследования:

- органолептические показатели – по ГОСТ 28283-89 «Молоко коровье. Метод органолептической оценки запаха и вкуса»;

- массовую долю белка – методом формольного титрования по ГОСТ 25179-2014 «Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка»;

- сухие вещества – рефрактометрическим методом по ГОСТ ISO 2173-2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ».

Поскольку осаждение крупных и мелких частиц подсолнечной мятки занимает много времени, взвеси удаляли с помощью лабораторной центрифуги ОПн-3. Центробежное воздействие осуществляли в течение 1 минуты в соответствии с методикой ГОСТ 8756.9-2016, на максимальной скорости вращения (3 000 об./мин).

В качестве эмульгатора в работе использовали соевый лецитин торговых марок «COMPLEX SW» и «Molecularmea».

Для анализа количества и размеров жировых капель в заданном объеме эмульсии использовали счетную камеру Горяева и микроскоп Биолам ЛОМО С11 с планхроматическим объективом и окуляром с микрометрической шкалой. Размеры мицелл изучали при увеличении  $\times 45$ , для их идентификации использовали биохимический краситель судан III.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам исследований, полученные при разных гидромодулях и температуре 70 °С образцы представляют собой суспендированные эмульсии без характерного для разрушающегося белка запаха «жженого пера», с повышающимися по мере снижения гидромодуля содержанием суммы водорастворимых сухих веществ (рисунок 1) и белка (рисунок 2). Однако уже по истечении непродолжительного времени – через 5...15 минут – наблюдается расслоение полученных при таких условиях эмульсий. Объяснением данному явлению может являться то, что полученная система неоднородна и состоит из трех фаз, одна из которых – частицы мятки – находится в раздробленном состоянии.

Для того, чтобы повысить устойчивость пищевых эмульсий, в них добавляют специа-

лизированные технологические компоненты – эмульгирующие вещества, образующие вокруг отдельных капель дисперсной фазы защитные оболочки, предотвращающие слияние капель и расслоение эмульсий. Благодаря этому эмульсии приобретают необходимую агрегативную устойчивость. Соответственно, применение эмульгаторов дает возможность создания эмульсий с высокой концентрацией дисперсной фазы.

В ходе технологических исследований лецитин добавляли к сухой мятке, далее в эту смесь вводили воду, при соблюдении определенных температуры и гидромодуля, после чего приготовленную смесь подвергали обработке в ультразвуковом поле.

Как показала серия экспериментов, сразу после обработки эмульсии с добавлением лецитина не расслаивались, приобретая однородную консистенцию серовато-кремового цвета и приятный маслянистый запах ядра подсолнечника. Однако по истечении 30...60 минут эмульсия вновь утрачивала коллоидную стабильность и расслаивалась. С учетом выявленной закономерности было принято решение разбавить систему (используя только гидромодуль 1:9) и применить центробежную обработку для удаления наиболее тяжелых взвешенных частиц мятки. Обжарка ядра перед приготовлением мятки имела дополнительной целью предотвращение возможного микробиологического и ферментативного разрушения эмульсий.

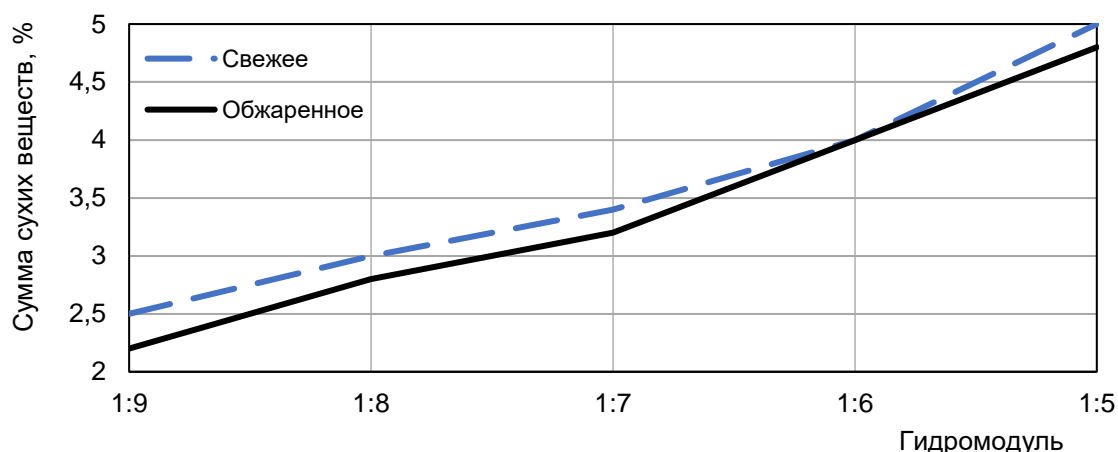


Рисунок 1 – Зависимость содержания в эмульсиях суммы сухих веществ от гидромодуля и способа обработки ядра подсолнечника, 30 с обработки

Figure 1 – The dependence of the content of the sum of dry substances in emulsions on the hydromodule and the method of processing the sunflower kernel, 30 s of processing

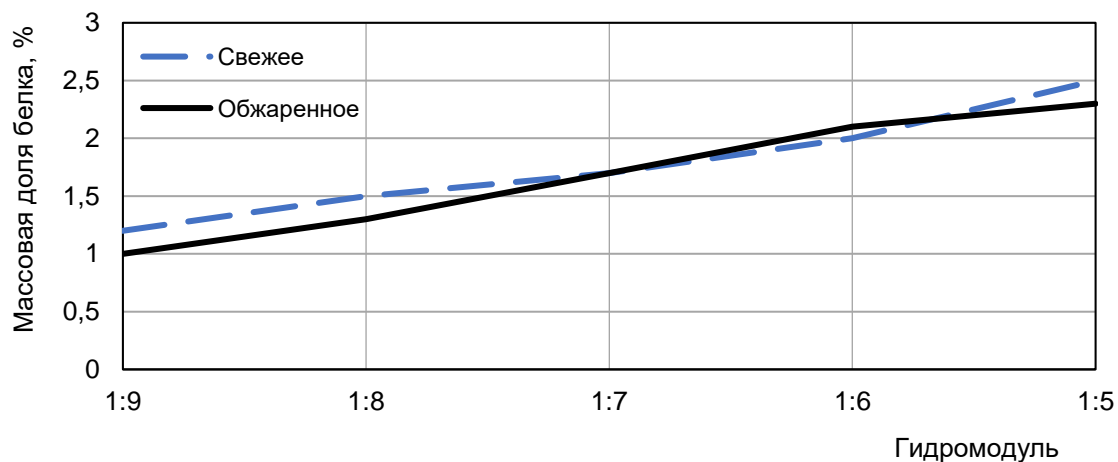


Рисунок 2 – Зависимость содержания белка в эмульсиях от гидромодуля и способа обработки ядра подсолнечника, 30 с обработки

Figure 2 – The dependence of the protein content in emulsions on the hydromodule and the method of processing the sunflower kernel, 30 s of processing

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВЫХ ЭМУЛЬСИЙ ИЗ ЯДРА СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА



Рисунок 3 – Внешний вид подсолнечных эмульсий после центробежной обработки  
Figure 3 – Appearance of sunflower emulsions after centrifugal treatment

Для получения подсолнечных эмульсий, стабилизированных обжаркой и эмульгатором, приняты следующие рабочие режимы:

- гидромодуль – 1:9;
- температура – 70 °С;
- время экспозиции – 60 с.

Образцы подвергали обработке на лабораторной центрифуге для быстрого отделения взвешенных частиц подсолнечной мятки и дополнительной гомогенизации полученной дисперсной системы в условиях центробежного воздействия, поскольку технологически очень сложно добиться коллоидной стабильности получаемой суспензированной эмульсии. При отмеченных режимах получены однородные эмульсии кремового цвета, которые с течением времени не расслаиваются и содержат до 2,5–3,0 % сухих веществ, в том числе от 1,0 % до 1,5 % белка. Следует также отметить, что использование центробежной обработки помогает качественно осветлить эмульсию от взвесей мельчайших

частиц подсолнечной мятки (рисунок 3), не вызывая критического изменения в содержании белка (таблица 1).

К важнейшим критериям, позволяющим судить о коллоидной стабильности пищевых эмульсионных систем, относятся размер жировых капель и образованных с их участием мицелл (таблица 2). Согласно результатам морфологического исследования, диспергированный жир находится в составе приготовленных эмульсий как в виде капель, так и в виде достаточно крупных скоплений мицелл. На фото (рисунок 4 слева) видно, что свободные жировые капли в составе эмульсий также присутствуют, они достаточно крупного размера, но их относительно немного.

Для оценки технологического потенциала исследуемых режимов получения пищевых эмульсий в них дополнительно вносили растительное масло (в дозировке 1 % и 2 % об., с ориентацией на получение питьевых сливок).

Таблица 1 – Влияние центробежной обработки на однородность подсолнечных эмульсий

Table 1 – The effect of centrifugal treatment on the uniformity of the sunflower emulsions

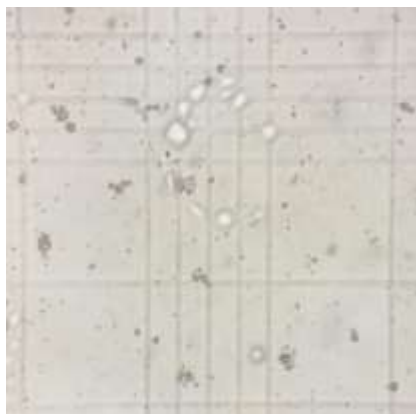
Этап исследования	Внешний вид и цвет	Содержание, %	
		СВ	Белок
До обработки	Эмульсия неоднородная, с заметным расслоением	2,5	1,2
После обработки	Эмульсия однородная, светло-кремовая	2,1	1,1

Таблица 2 – Размер жировых капель в зависимости от количества введенного масла

Table 2 – The size of fat droplets depending on the amount of injected oil

Дозировка растительного масла, на объем 250 мл		Размеры мицелл, мкм	
г	%	пределы	средний диаметр
2,5	1	5–111	15
5,0	2	11–113	25

Установлено, что дополнительно введенное растительное масло компенсирует дефицит жирового компонента в эмульсии и придает ей необходимую вязкость, в том числе благодаря образованию с этим жиром необходимых количества и структуры мицелл (рисунок 4 справа). Образующиеся в итоге жировые капли – большего размера, но до-



статочно хорошо распределены по объёму эмульсии. Увеличение продолжительности ультразвукового воздействия до 60 с позволило разбить крупные капли жира на более мелкие (фото справа дано с бóльшим увеличением, для тех же клеток камеры Горяева), что способствовало стабилизации эмульсионной системы.



Рисунок 4 – Распределение жировых капель в подсолнечных эмульсиях: слева – без дополнительного внесения масла, справа – с введением 2 % масла

Figure 4 – Distribution of fat droplets in the sunflower emulsions: on the left – without additional oil, on the right – with the introduction of 2% oil

Таким образом, при использовании мятки из сырого ядра семян подсолнечника не достигнута желаемая коллоидная стабильность получаемых коллоидных систем. Использование обжаренного ядра позволяет получить стабильные эмульсии кремового цвета, содержащие до 2,5–3,0 % сухих веществ, в том числе от 1,0 % до 1,5 % белка, что сопоставимо с характеристиками представленных на потребительском рынке растительных аналогов питьевого молока. Для получения питьевых сливок из ядра семян подсолнечника доля жира в полученных эмульсиях может быть увеличена при условии соответствующего увеличения продолжительности обработки обогащенных маслом эмульсий в ультразвуковом поле.

### ВЫВОДЫ

Значительные объемы производства маслосемян подсолнечника в Алтайском крае, как и высокая пищевая ценность этого сырья, свидетельствуют о значительном потенциале рассматриваемой культуры для пищевой и перерабатывающей промышленности региона. Интерес потребителей и производителей к растительным аналогам молока, сливок и других молочных продуктов «без молока» создает определенные перспективы

для использования подсолнечника и в этом направлении.

Проведенные исследования показали, что эффективность получения белковых эмульсий, аналогичных растительным заменителям животного молока и сливок, определяется не только технологическими параметрами ультразвукового воздействия, но и условиями подготовки ядра семян подсолнечника. Для промышленного производства «подсолнечного молока» рекомендована сухая обжарка ядра семян подсолнечника перед его измельчением и приготовлением эмульсии – основы напитка. При изученных режимах (гидромодуль 1:9, 70 °С, частота УЗ-воздействия 22 кГц) получены коллоидно-стабильные эмульсии с содержанием белка на уровне 1,0–1,5 %.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жебо А.В., Алешков А.В., Каленик Т.К. Технология и характеристика заменителей молока на растительной основе // Вестник ВСГУТУ. 2019. № 4 (75). С. 25-31.
2. Лаврова Л.Ю. Разработка технологии и рецептур биопродуктов на основе растительного молока // Индустрия питания. 2019. Т. 4. № 2. С. 43-50. DOI 10.29141/2500-1922-2019-4-2-6.
3. Consensus document on compositional considerations for new varieties of sunflower: key food and feed nutrients, anti-nutrients and toxicants // Se-

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВЫХ ЭМУЛЬСИЙ ИЗ ЯДРА СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА

ries on the Safety of Novel Foods and Feeds. Paris. 2007. № 16. 32 p.

4. Guo S., Ge Y., Na Jom K. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.) // *Chemistry Central Journal*. 2017. № 11, 95. DOI 10.1186/s13065-017-0328-7.

5. Žilić S, Barać M, Pešić M., Crevar M, Stanojević S, Nišavić A, Saratlić G, Tolimir M. Characterization of sunflower seed and kernel proteins. 2010. Vol. 33, № 52. P. 103-114.

6. Khurana S., Singh R. Sunflower (*Helianthus annuus*) seed // In: Tanwar B., Goyal A. (eds.) *Oilseeds: health attributes and food applications*. Springer, Singapore. 2020. P. 123-143. DOI 10.1007/978-981-15-4194-0\_5.

7. Petraru A., Ursachi F., Amariei S. Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient // *Plants*. 2021. № 10, 2487. DOI 10.3390/plants10112487.

8. Nenova N., Drumeva M. Investigation on protein content and amino acid composition in the kernels of some sunflower lines // *Helia*. 2012. Vol. 35. P. 41-46. DOI 10.2298/HEL1256041N.

9. Ivanova P., Chalova V., Koleva L., Pishtiyski I., Perifanova-Nemska M. Optimization of protein extraction from sunflower meal produced in Bulgaria // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012. Vol. 18. № 2. P. 153-160.

### Информация об авторах

*А. В. Акинфеева – студентка направления подготовки «Продукты питания из растительного сырья» кафедры технологии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

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

*С. Н. Цыганок – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».*

### REFERENCES

1. Zhebo, A.V., Aleshkov, A.V. & Kalenik, T.K. (2019). Technology and characteristics of plant-based

milk substitutes // *Bulletin of VSGUTU*. 2019. № 4 (75). P. 25-31. (In Russ.).

2. Lavrova, L.Yu. (2019). Bioproducts technology and recipe development on the grain milk basis // *Food Industry*. 2019. V. 4, № 2. P. 43-50. DOI 10.29141/2500-1922-2019-4-2-6. (In Russ.).

3. Consensus document on compositional considerations for new varieties of sunflower: key food and feed nutrients, anti-nutrients and toxicants (2007). *Series on the Safety of Novel Foods and Feeds*. (16). Paris.

4. Guo, S., Ge, Y. & Na Jom, K. (2017). A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.). *Chemistry Central Journal*, (11), 95. DOI 10.1186/s13065-017-0328-7.

5. Žilić, S, Barać, M, Pešić, M., Crevar, M, Stanojević, S, Nišavić, A, Saratlić, G, Tolimir, M. Characterization of sunflower seed and kernel proteins. 2010. Vol. 33, № 52. P. 103-114.

6. Khurana, S. & Singh, R. (2020). Sunflower (*Helianthus annuus*) seed // In: *Oilseeds: health attributes and food applications* (Eds. B. Tanwar, A. Goyal). Springer, Singapore. 123-143. DOI 10.1007/978-981-15-4194-0\_5.

7. Petraru, A., Ursachi, F. & Amariei, S. (2021). Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient. *Plants*, (10), 2487. DOI 10.3390/plants10112487.

8. Nenova, N. & Drumeva, M. (2012). Investigation on protein content and amino acid composition in the kernels of some sunflower lines. *Helia*, (35), 41-46. DOI 10.2298/HEL1256041N.

9. Ivanova, P. et al. (2012). Optimization of protein extraction from sunflower meal produced in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 18 (2), 153-160.

### Information about the authors

*A. V. Akinfeeva – student of the training course «Food products from vegetable raw materials» of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.*

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

*S. N. Tsyganok – candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Methods and Means of Measurement and Automation, Biysk Technological Institute of Polzunov Altai State Technical University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*



Научная статья

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

УДК 663.835.022.3:577.15-021.465

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.002



## ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СБРОЖЕННЫХ СОКОВ РЯБИНЫ ЧЕРНОПЛОДНОЙ

Наталья Кирилловна Шелковская <sup>1</sup>, Елена Петровна Каменская <sup>2</sup>,  
Елена Сергеевна Дикалова <sup>3</sup>, Марина Николаевна Колесниченко <sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> shelk49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1335-1718>

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

<sup>3</sup> des\_1983@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5722-7423>

<sup>4</sup> mar.kolesnichenko2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8843-4705>

**Аннотация.** Разработана технологическая схема приготовления ферментированных соков рябины черноплодной. Новизна исследований заключается в разработке специальной технологии приготовления сброженного сока рябины черноплодной с использованием ферментных препаратов и винных дрожжей расы Франс Суперстарт. Обработка сырья ферментными препаратами комплексного действия способствует более полному выходу растворимых сухих веществ, в том числе полифенолов, в жидкую фракцию. В процессе последующего сбраживания образуются новые вещества (продукты гидролиза высокомолекулярных соединений и продукты метаболизма микроорганизмов), дополнительно обогащающие напитки биологически активными соединениями, повышая их полезные свойства, а также улучшая органолептические показатели. Ферментированные соки рябины черноплодной готовили методом микровиноделия сбраживанием нативного сахара до остаточного содержания 0,36-0,59 г/100 г. Накопление летучих кислот 0,12-018 г/дм<sup>3</sup>, что ниже ПДК (не более 1,20 г/дм<sup>3</sup>). Сумма полифенолов и антоцианов на высоком уровне – 3070 мг/дм<sup>3</sup> и 551,98 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Представлены результаты анализов вторичных и побочных продуктов брожения в дистиллятах ферментированных соков рябины черноплодной. Установлено, что использование ферментного препарата Экстрапект Супер Клар позволяет увеличить содержание полифенолов в 1,7 раза, а также сумму побочных продуктов брожения, влияющих на вкус и аромат конечного продукта на 18,2 % по сравнению с контролем без предварительного его использования.

**Ключевые слова:** плоды рябины черноплодной, соки прямого отжима, ферментированные соки, винные дрожжи, ферментные препараты, продукты брожения.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России на создание и развитие инжинирингового центра в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты».

---

**Для цитирования:** Влияние ферментных препаратов на показатели качества сброженных соков рябины черноплодной /Шелковская Н. К. [и др.] // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 14 - 21. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.002. EDN: <https://elibrary.ru/JEMVYD>.

---

Original article

## THE INFLUENCE OF ENZYME PREPARATIONS ON THE QUALITY INDICATORS OF FERMENTED JUICES OF CHOKEBERRY

Natalia K. Shelkovskaya <sup>1</sup>, Elena P. Kamenskaya <sup>2</sup>, Elena S. Dikalova <sup>3</sup>,  
Marina N. Kolesnichenko <sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> shelk49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1335-1718>

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

<sup>3</sup> des\_1983@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5722-7423>

<sup>4</sup> mar.kolesnichenko2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8843-4705>

**Abstract.** A technological scheme for the preparation of fermented chokeberry juices has been developed. The novelty of the research lies in the development of a special technology for the preparation of fermented chokeberry juice using enzyme preparations and wine yeast of the France Super start race. The processing of raw materials with enzyme preparations of complex action contributes to a more complete release of soluble solids, including polyphenols, into the liquid fraction. In the process of subsequent fermentation, new substances are formed (the products of hydrolysis of molecular compounds and products of metabolism of microorganisms), which further enrich drinks with biologically active compounds, increasing their useful properties, as well as improving organoleptic characteristics. Fermented chokeberry juices were prepared by micro winemaking by fermenting native sugar to a sufficient content 0,36- 0,59 g/100g. Accumulation of volatile acids 0,12-0,18 g/dm<sup>3</sup>, which is below MPC (no more than 1,20 g/dm<sup>3</sup>). The amount of polyphenols and anthocyanins is at a high level – 3070 mg/dm<sup>3</sup> and 551,98 mg/dm<sup>3</sup> respectively. The results of analyzes of secondary and by-products of fermentation in distillants of fermented chokeberry juices are presented. It has been established that the use of the enzyme preparation Exprapect Superclar allows to increase the content of polyphenols by 1,7 times, as well as the amount of fermentation by-products that affect the taste and aroma of the final product by 18,2 % compared to the control without its preliminary use.

**Keywords:** chokeberry fruits, directly squeezed juices, fermented juices, wine yeast, enzyme preparations, fermentation products.

**Acknowledgements:** The research was carried out with the support of a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the creation and development of an engineering center within the framework of the federal project "Development of infrastructure for Research and Training" of the national project "Science and Universities".

**For citation:** Shelkovskaya, N. K., Kamenskaya, E. P., Dikalova, E. S. & Kolesnichenko, M. N. (2022). The influence of enzyme preparations on the quality indicators of fermented juices of chokeberry. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 14-21. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.002.

### ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в связи с неблагоприятными воздействиями окружающей среды, возрастающим количеством заболеваний, учащающимся стрессовым состоянием людей возникает всё большая необходимость в создании и применении пищевых продуктов функционального назначения, которые способны не только восполнять в организме человека дефицит питательных веществ, но и регулировать различные функции и биохимические реакции организма. Так, известно, что группу продуктов функционального назначения составляют специальные пищевые про-

дукты, обогащенные функциональными пищевыми ингредиентами, обладающими способностью оказывать благоприятный эффект на одну или несколько физиологических функций организма, снижающие риск развития заболеваний, связанных с питанием, а также сохраняющие и улучшающие здоровье человека.

Оптимальными видами пищевых продуктов, используемых для обогащения организма человека функциональными пищевыми ингредиентами и применяемыми потребителями различных возрастных групп, являются плодово-ягодные соки и безалкогольные



напитки с их внесением, содержащие комплекс биологически активных веществ (БАВ): витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, олигосахаридов, природных антиоксидантов и др. [1].

Одним из наиболее перспективных способов улучшения органолептических показателей и биологической ценности плодово-ягодных соков является их сбраживание с использованием винных дрожжей. Известно, что в процессе брожения образуются новые вещества (продукты гидролиза высокомолекулярных соединений и продукты метаболизма микроорганизмов), которые дополнительно обогащают соки органическими кислотами, незаменимыми аминокислотами, витаминами, антибактериальными веществами и др., повышая их полезные функциональные свойства.

В технологии производства безалкогольных функциональных напитков на основе растительного сырья, а именно плодово-ягодных соков, особенно важными являются показатели биологически активных компонентов. Для повышения выхода сока и концентрации функциональных компонентов, на стадии предобработки растительной мезги, используют различные ферментные препараты, способные расщеплять межклеточные структуры сырья, состоящие из некрахмалистых полисахаридов и белков [2–4]. Подобная предобработка плодов ферментными препаратами комплексного действия способствует более полному выходу растворимых сухих веществ, в том числе биологически активных компонентов, в жидкую фракцию.

Ценным источником БАВ для промышленной переработки плодов, является рябина черноплодная (*Aronia melanocarpa*), в плодах которой содержится широкий спектр различных БАВ: витамины С, В2, В9, Е, Р, РР, дубильные, пектиновые вещества, каротиноиды, углеводы (глюкоза, фруктоза, сахароза), органические кислоты, а также значительное количество полифенольных соединений, в том числе антоцианов. Кроме того, в рябине черноплодной содержатся макро- и микроэлементы: кальций, фосфор, магний, натрий, калий, цинк, медь, железо. Флавоноиды аронии представлены флавонолами, флавонами и флаванонами, а также их гликозидами [5-7].

Перспективным является использование сброженных соков рябины черноплодной в рецептурах сокосодержащих безалкогольных напитков, что позволит обеспечить не только расширение ассортимента продуктов функционального назначения, содержащих в качестве функционального пищевого ингредиента

комплекс биофлавоноидов, но и их высокую биологическую и пищевую ценность.

Целью данной работы являлось изучение влияния различных комплексных ферментных препаратов на биохимический состав и побочные продукты брожения ферментированных соков рябины черноплодной.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В соответствии с поставленными задачами объектами исследования служили: сок рябины черноплодной прямого отжима и полученные с использованием ферментных препаратов сброженные винными дрожжами соки.

Брожение соков рябины черноплодной проводили методом микровиноделия согласно «Основным правилам, технологическим инструкциям и нормативным материалам по производству винодельческой продукции» [8]. Физико-химический контроль процесса брожения проводили по уменьшению содержания сахаров и накоплению этилового спирта [9]. После выдержки виноматериалы стабилизировали оклейкой бентонитом в сочетании с желатином [10], затем фильтровали. Физико-химические исследования натуральных и ферментированных соков определяли по ГОСТ: ISO750;28562;32001; общее содержание полифенолов – колориметрическим методом с помощью реактива Folin-Ciocalteu [9]. Концентрацию побочных продуктов брожения оценивали на газовом хроматографе «Varian GC 3900» с пламенно-ионизационным детектором.

Исследования проводили в лаборатории кафедры технологии бродильных производств и виноделия АлтГТУ им. И.И. Ползунова в 2021-2022 гг.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

В качестве сырья для получения соков использовали замороженные плоды рябины черноплодной, заготовленные в конце сентября 2021 г. в районе г. Барнаула Алтайского края и хранившиеся при температуре минус 20 °С. Замороженные плоды дефростировали при комнатной температуре в течение суток, измельчали до размера частиц 2-5 мм. Полученную мезгу делили на три части: 1) ферментный препарат (ФП) не использовали – контроль; 2) обрабатывали ферментным препаратом Экстрапект Колор; 3) обрабатывали ферментным препаратом Экстрапект Супер Клар. Характеристика препаратов приведена в таблице 1.

## ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СБРОЖЕННЫХ СОКОВ РЯБИНЫ ЧЕРНОПЛОДНОЙ

Таблица 1 – Характеристика ферментных препаратов Экстрапект Колор и Экстрапект Супер Клар

Table 1 - Characteristics of enzyme preparations Extract Color and Extract Super Clar

Наименование препарата (ферменты)	Производитель	Параметры	Оптимальный диапазон
Экстрапект Колор (пектиназа, гемицеллюлаза)	Aspergillus niger	Температура, °C	45-55
		pH, ед.	3,0-5,0
Экстрапект Супер Клар (пектиназа, гемицеллюлаза, рамназа, галакт)	Aspergillus niger	Температура, °C	45-55
		pH, ед.	3,0-5,0

Как видно из данных таблицы 1, ферментные препараты Экстрапект Колор и Экстрапект Супер Клар относятся к комплексным препаратам, гидролизующих пектиновые вещества за счет разрушения сложноэфирных связей, а также осуществляющих протеолитическое и цитолитическое действие, тем самым увеличивая выход сока и способствуя обогащению выделяемой жидкой фракции растворимыми сухими веществами.

Продолжительность действия ферментных препаратов (ФП) – 60 минут установили экспериментально. В течение указанного времени выход сока увеличился на 22,8 %, даль-

нейшая выдержка не давала улучшения результата по данному критерию. Дозировка исследуемых препаратов – 0,05 г на 1 кг мезги – выбрана из диапазона, рекомендованного производителем, и установлена в условиях эксперимента.

В мезгу, приготовленную предварительной обработкой ферментными препаратами или без них, вносили универсальные винные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы Франс Суперстарт для эффективного сбраживания плодово-ягодного сусла из расчета 0,5 г/кг мезги. Брожение проводили в течение 7 суток при температуре 22-24 °C. По завершении брожения способом прямого отжима отделяли от мезги сброженный сок рябины черноплодной. Данные физико-химических показателей полученных образцов определяли общепринятыми в виноделии методами

Согласно результатам, представленным в таблице 2, в натуральном соке рябины черноплодной без обработки ФП отмечено умеренное содержание общих сахаров – 9,52 г/100 г и сверхнормативная титруемая кислотность – 16,5 г/дм<sup>3</sup>. Сахарокислотный индекс (СКИ) значительно ниже нормируемых 10 ед. и составляет 5,77 единиц, вследствие умеренного содержания сахара и высокой кислотности. Как правило, СКИ выше 10 ед. характеризует высокую оценку вкуса соков. Высокий уровень полифенолов – 3070 г/дм<sup>3</sup> и антоцианов – 551,98 мг/дм<sup>3</sup> указывает на их выраженные антиоксидантные свойства, способность нейтрализовать свободные радикалы в организме человека.

Таблица 2 – Физико-химические показатели сока рябины черноплодной прямого отжима

Table 2 – Physico-chemical parameters of the juice of mountain ash of direct extraction

Наименование	Удельный вес, г/100см <sup>3</sup>	РСВ, %	Массовая концентрация сахаров, г/100 г	Титруемая кислотность, г/дм <sup>3</sup>	СКИ, (ед.)	Сумма полифенолов, мг/дм <sup>3</sup>	Антоцианы мг/дм <sup>3</sup>
Сок рябины черноплодной (без обработки ФП)	1,066	18,0	9,52	16,50	5,77	3070	551,98

Примечание: РСВ – растворимы сухие вещества; СКИ – сахарокислотный индекс; (ед.) – единица; ФП – ферментный препарат

В таблице 3 представлены физико-химические показатели сброженных соков

рябины черноплодной, полученных с использованием ферментных препаратов и без них.

Таблица 3 – Физико-химические показатели сброженных соков рябины черноплодной, полученных с использованием различных ферментных препаратов

Table 3 – Physico-chemical parameters of fermented juices of chokeberry obtained using various enzyme preparations

Образцы	РСВ, %	Сахар остаточный, %	Титруемая кислотность, г/дм <sup>3</sup>	СКИ, (ед.)	Сумма полифенолов, мг/дм <sup>3</sup>	Антоцианы, мг/дм <sup>3</sup>	Спирт, % об.	Летучие кислоты г/дм <sup>3</sup>
Контроль (без ФП)	10,9	0,59	12,76	0,46	1378	262,58	2,9	0,18
Сок с Экстрапект Колор	11,6	1,98	12,76	1,38	2060	201,80	3,3	0,15
Сок с Экстрапект Супер Клар	12,8	2,16	12,21	1,54	2325	259,43	2,9	0,12

Полученные данные свидетельствуют, что, в результате брожения соков в сравнении с исходным содержанием снизились растворимые сухие вещества с 18 % до 10,9-11,6-12,8 % как в контроле, так и в опытных образцах, обработанных ферментными препаратами. Соответственно произошло и снижение общих сахаров с 9,52 г/100 г до остаточного содержания – 0,59; 1,98; 2,16 г/100 г, закономерное снижение титруемой кислотности и сахарокислотного индекса. Накопление этилового спирта несколько выше 3,3% об. в образце, обработанном ФП Экстрапект Колор по сравнению с контролем и образце, обработанном ФП Экстрапект Супер Клар – 2,9 % об. В результате окисли-

тельных процессов в период брожения отмечено некоторое снижение антоцианов и полифенольных веществ, но при этом их содержание осталось на достаточно высоком уровне – 201,80 мг/дм<sup>3</sup> и 1378-2325 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Показатель летучих кислот минимальный – 0,12-0,18 г/дм<sup>3</sup>, что существенно ниже предельно допустимой концентрации (не более 1,20 г/дм<sup>3</sup>) и указывает на качественно проведенное брожение.

Чтобы выявить особенности влияния ферментных препаратов на ароматику сброженных соков, далее провели сравнительный анализ массовой концентрации вторичных и побочных продуктов брожения в их дистиллятах (таблица 4).

Таблица 3 – Содержание вторичных и побочных продуктов брожения в сброженных соках рябины черноплодной, обработанных различными ферментными препаратами

Table 3 - The content of secondary and by-products of fermentation in fermented juices of chokeberry, treated with various enzyme preparations

Наименование показателя	Массовая концентрация, мг/дм <sup>3</sup> в пересчете на безводный спирт		
	без обработки ФП	с обработкой ФП Экстрапект Супер Клар	с обработкой Экстрапект Колор
Ацетальдегид	51,606	122,962	25,372
Метилацетат	–	–	–
Этилацетат	67,882	60,378	55,836
Метанол	0,042	0,078	0,151
2-пропанол	–	1,990	–
1-пропанол	92,995	103,845	419,040
Изобутанол	70,169	82,272	45,198
1-бутанол	7,811	9,740	11,567
Изоамилол	281,105	328,552	210,654
Сумма побочных продуктов брожения	580,391	709,818	390,682

## ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СБРОЖЕННЫХ СОКОВ РЯБИНЫ ЧЕРНОПЛОДНОЙ

Измерение концентрации альдегидов в сброженном соке является основной для аналитической характеристики готового продукта – они являются промежуточным продуктом в образовании высших спиртов, ацеталей и эфиров. Из данных таблицы 4 следует, что в изученных образцах сброженных соков количество ацетальдегида варьировало от 25,372 мг/дм<sup>3</sup> в соке, полученном с предварительной обработкой Экстрапект Колор до 122,962 мг/дм<sup>3</sup> в образце с использованием Экстрапект Супер Клар. Сложные эфиры образуются из алифатических кислот и спиртов и отвечают за целый спектр в основном приятных ароматов. При этом, метилацетат не обнаружен ни в одном варианте. Концентрация этилацетата, обладающего приятным цветочным, фруктовым ароматом с элементами терпкости, варьировала незначительно в пределах от 55,836 мг/дм<sup>3</sup> (с ФП Экстрапект Колор) до 67,882 мг/дм<sup>3</sup> (контроль).

Концентрация метанола, вредного для организма человека, во всех соках была минимальна и не превышала предельно допустимую концентрацию, так в образце с применением ФП Экстрапект Колор – 0,151 мг/дм<sup>3</sup>, что почти в 2 раза выше, чем в образце с ФП Экстрапект Супер Клар.

Высшие спирты или сивушные масла – результат спиртового брожения углеводов. Из группы высших спиртов преобладали: 1-пропанол – 419,040 мг/дм<sup>3</sup> (с Экстрапект Колор) и изоамилол – 328,552 мг/дм<sup>3</sup> (с Экстрапект Супер Клар). В исследованных образцах сумма высших спиртов (2-пропанол, 1-пропанол, изобутанол, изоамилол) составила: контроль – 452,08 мг/дм<sup>3</sup>; с введением Экстрапект Супер Клар – 338,39 мг/дм<sup>3</sup>; в образце с Экстрапект Колор – 686,46 мг/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, было выявлено, что результатом сложных биохимических процессов, происходящих при брожении черноплодно-рябинового суслу после предварительной обработки комплексными ферментными препаратами Экстрапект Колор и Экстрапект Супер Клар, является активное накопление различных побочных продуктов брожения: альдегидов, эфиров, высших спиртов. Известно, что побочные продукты брожения могут образовываться как при размножении дрожжевых клеток из аминокислот в результате непрямого дезаминирования и декарбонирования, так и в процессе гликолитического превращения углеводов в этанол. Предварительная обработка черноплодно-рябинового сока комплексным ФП Экстрапект Супер Клар по сравнению с ФП Экстрапект Колор, показала наибольшее накопление

побочных продуктов брожения, которые оказывают положительное влияние на физико-химические и органолептические показатели качества, улучшая вкус, аромат и обогащая сброженный продукт биологически активными веществами. Так, суммарное количество побочных продуктов брожения в обработанном ФП Экстрапект Супер Клар соке – 709,818 мг/дм<sup>3</sup>, что на 18,2 % больше, чем в контроле; в образце с ФП Экстрапект Колор – 390,682 мг/дм<sup>3</sup>, это на 32,7 % меньше значения контроля – 580,391 мг/дм<sup>3</sup>.

В проведенном эксперименте наиболее высокие дегустационные оценки, также получил вариант сброженного сока, приготовленного с применением ферментного препарата Экстрапект Супер Клар. Гармоничное сочетание всех химических составляющих делает его более выигрышным по всем органолептическим параметрам по сравнению с остальными исследуемыми образцами.

На основании проведенных исследований предложена технологическая схема приготовления ферментированных соков рябины черноплодной с использованием ФП (рис.1). Полученные по разработанной технологической схеме ферментированные соки рябины черноплодной будут использоваться в рецептурах функциональных безалкогольных напитков.

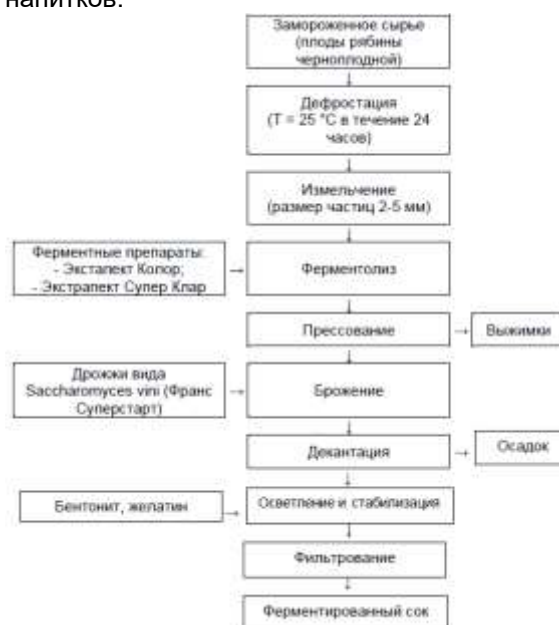


Рисунок 1 – Технологическая схема приготовления ферментированных соков рябины черноплодной

Figure 1 – Technological scheme of preparation of fermented juices of mountain ash

## ВЫВОДЫ

1. В натуральном соке рябины черноплодной отмечена умеренная массовая концентрация общих сахаров – 9,52 г/100 г и сверхнормативная титруемая кислотность – 16,5 г/дм<sup>3</sup>. Высокий уровень полифенолов – 3070 мг/дм<sup>3</sup> и антоцианов – 551,98 мг/дм<sup>3</sup> указывает на их выраженные антиоксидантные свойства, способность нейтрализовать свободные радикалы в организме человека.

2. К окончанию брожения соков, полученных с использованием изученных ферментных препаратов на 7 сутки снизились растворимые сухие вещества с 18,0 % до 10,9 %, а содержание общих сахаров с 9,52 г/100г до остаточного содержания 0,59-2,16 г/100г, как в контроле, так и в опытных образцах. Отмечено закономерное снижение титруемой кислотности, СКИ и некоторое уменьшение антоцианов и полифенольных веществ. Показатель летучих кислот минимальный – 0,12-0,18 г/дм<sup>3</sup>, что ниже ПДК.

3. Наиболее эффективным в технологии получения сброженного сока из рябины черноплодной является использование ферментного препарата Экстрапект Супер Клар, поскольку позволяет увеличить содержание полифенолов в 1,7 раза, а сумму побочных продуктов брожения, влияющих на вкус и аромат конечного продукта на 18,2 % по сравнению с контролем без внесения ФП.

4. Ферментированные соки рябины черноплодной рекомендуется использовать в рецептурах функциональных безалкогольных напитков для расширения их ассортимента, улучшения вкусоароматических свойств и обогащения комплексом биофлавоноидов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: методические рекомендации 2.3.1.1915-04. М., 2004.

2. Vitolo M. Enzymes in the production of juices and beverages // World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2020. V. 9. P. 504–517. doi: 10.20959/wjpps20203-15735.

3. Guasch-Ferré M., Hu F. B. Are fruit juices just as unhealthy as sugar-sweetened beverages? // JAMA network open. 2019. V. 2. № 5. P. e193109-e193109. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2019.3109.

4. Yip C.S.C., Chan W., Fielding R. The associations of fruit and vegetable intakes with burden of diseases: a systematic review of meta-analyses // Journal of the Academy of Nutrition

and Dietetics. 2019. V. 119. № 3. P. 464-481. doi: 10.1016/j.jand.2018.11.007.

5. Логвинова Е.Е., Брежнева Т.А., Самылина И.А., Сливкин А.И. Исследование химического состава плодов аронии различных сортов // Фармация. 2015. № 6. С. 22-26.

6. Блинникова О. М. Витаминная ценность плодов аронии черноплодной // Вестник МичГАУ. 2013. № 2. С. 56–59.

7. Каменская Е.П. Дикалова Е.С., Камаева С.И., Колесниченко М.Н., Шелковская Н.К. Использование ферментированного сока рябины черноплодной при получении хлебного кваса // Современные направления технологического развития и повышения эффективности промышленного производства в экономике Алтайского края: материалы Всероссийской научно-практической конференции / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. Барнаул : АлтГТУ, 2021. С. 168-172.

8. Сборник основных правил, технологических инструкций и нормативных материалов по производству винодельческой продукции. Москва, Пищепромиздат, 1998. с. 42-46.

9. Гержикова В.Г. Методы теххимического контроля в виноделии. Симферополь: Таврида, 2002. 260 с.

10. Валуйко Г.Г., Шольц Е.П., Трошин Л.П. Методические рекомендации по технологической оценке винограда для виноделия. Ялта, 1983. с. 25-26.

## Информация об авторах

*Н. К. Шелковская – доцент кафедры технологии бродильных производств и виноделия Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

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

*Е. С. Дикалова – старший преподаватель кафедры технологии бродильных производств и виноделия Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

*М. Н. Колесниченко – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бродильных производств и виноделия Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

## REFERENCES

1. Recommended levels of consumption of food and biologically active substances. (2004). Methodological recommendations 2.3.1.1915-04. (In Russ.).
2. Vitolo, M. (2020). Enzymes in the production of juices and beverages. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, (9), 504–517. doi: 10.20959/wjpps20203-15735.
3. Guasch-Ferré M., & Hu F. B. (2019). Are fruit juices just as unhealthy as sugar-sweetened beverages? *JAMA network open*, (5), e193109-e193109.
4. Yip, C.S.C., Chan, W., & Fielding, R. (2019). The associations of fruit and vegetable intakes with burden of diseases: a systematic review of meta-analyses. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, (3), 464-481. doi: 10.1016/j.jand.2018.11.007.
5. Logvinova, E.E., Brezhneva, T.A., Samylina, I.A. [et al.]. (2015). Investigation of the chemical composition of aronia fruits of various varieties. *Pharmacy*, (6), 22-26. (In Russ.).
6. Blinnikova, O. M. (2013). Vitamin value of fruits of aronia chernoplodnaya. *Bulletin of MICHGAU*, (2), 56-59. (In Russ.).
7. Kamenskaya, E.P. Dikalova, E.S., Kamaeva, S.I. [et al.]. (2021). The use of fermented juice of mountain ash in the production of bread kvass. *Modern directions of technological development and increasing the efficiency of industrial production in the economy of the Altai Territory: materials of the All-Russian Scientific and Practical conference / Altai State Technical University named after I. I. Polzunova*. Barnaul : AltSTU, 168-172. (In Russ.).
8. Collection of basic rules, technological instructions and regulatory materials for the production of wine products. (1998). Moscow: Pishchepromizdat, 42-46. (In Russ.).
9. Gerzhikova, V.G. (2002). Methods of technochemical control in winemaking /edited by V.G. Gerzhikova. Simferopol: Tavrida. (In Russ.).
10. Valuiko G.G., Scholz E.P., & Troshin L.P. (1983). Methodological recommendations on technological assessment of grapes for winemaking /under the general editorship of G.G. Valuiko. Yalta, 25-26. (In Russ.).

### Information about the authors

N. K. Shelkovskaya – Associate Professor of the Department of Technology of Fermentation and Winemaking, Polzunov Altai State Technical University.

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

E. S. Dikalova – Senior lecturer of the Department of Technology of Fermentation and Winemaking, Polzunov Altai State Technical University.

M. N. Kolesnichenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Fermentation and Winemaking, Polzunov Altai State Technical University.

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*



Научная статья

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

УДК 663.25

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.003

 EDN: LABBFN

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИГРИСТЫХ ВИН

Татьяна Александровна Дроздова <sup>1</sup>, Наталья Михайловна Агеева <sup>2</sup>,  
Максим Витальевич Поспелов <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

<sup>1</sup> tanjakitti@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6852-5247>

<sup>2</sup> ageyeva@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9326-195X>

<sup>3</sup> pospielov2001@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6629-2454>

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию, направленному на выявление и разработку технологических приемов, обеспечивающих интенсификацию ферментативных реакций в дрожжевой биомассе в процессе послетиражной выдержки игристого вина и, как следствие, существенное сокращение сроков выдержки и улучшение качества готового продукта. В целях изучения механизма автолиза дрожжей в период послетиражной выдержки исследовали влияния температурных режимов обработок тиража на изменение его физико-химических и биохимических показателей в условиях, исключающих повышенное давление и герметичность среды. С этой целью, начиная с исходного виноматериала и, пооперационно, в модели тиража проводили анализ активности окислительных и гидролитических ферментов, определяли содержание белка и аминокислотного азота, а также пенообразующей способности.

Несмотря на значительное уменьшение пенообразующей способности с применением обработки холодом с дальнейшей обработкой теплом удалось увеличить ее значение с 8,7 с до 9,4 с. Данное значение получилось достигнуто за счет распада белковых структур дрожжевой клетки и усиления активности гидролитических ферментов, что способствовало увеличению концентрации аминокислотного азота с 157,5 до 161,0 мг/дм<sup>3</sup>, которые являются поверхностно-активными веществами. Также было выявлено, что для проведения вторичного брожения виноматериала из селекционных сортов винограда, необходимо проводить подбор дрожжей.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о возможности сокращения сроков послетиражной выдержки кюве шампанского и улучшении ее пенообразующей способности, в результате интенсификации процессов созревания вина за счет усиления ферментативной активности дрожжевой биомассы при термической обработке.

**Ключевые слова:** виноматериал, активные сухие дрожжи, пенообразующая способность, аминокислотный азот, ферменты, игристые вина, послетиражная выдержка, термическая обработка.

**Благодарности:** Автор выражает благодарность за финансовую поддержку исследования фонду содействия инновациям «УМНИК».

---

**Для цитирования:** Дроздова Т. А., Агеева Н. М., Поспелов М. В. Исследования влияния термических обработок на показатели качества игристых вин // Ползуновский вестник. 2022. С. 22 – 27. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.003. EDN: <https://elibrary.ru/LABBFN>.

---

Original article

## STUDIES OF THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENTS ON THE QUALITY INDICATORS OF SPARKLING WINES

Tatyana A. Drozdova<sup>1</sup>, Natalya M. Ageeva<sup>2</sup>, Maxim V. Pospelov<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

<sup>1</sup> tanjakitti@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6852-5247>

<sup>2</sup> ageyeva@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9326-195X>

<sup>3</sup> pospielov2001@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6629-2454>

**Abstract.** The article is devoted to a study aimed at identifying and developing technological techniques that ensure the intensification of enzymatic reactions in yeast biomass during the post-aging of sparkling wine and, as a result, a significant reduction in the aging time and improvement of the quality of the finished product. In order to study the mechanism of autolysis of yeast during the period of post-run exposure, the effects of temperature regimes of circulation treatments on changes in its physico-chemical and biochemical parameters in conditions excluding increased pressure and tightness of the medium were investigated. For this purpose, starting from the initial wine material and, operationally, in the circulation model, the activity of oxidative and hydrolytic enzymes was analyzed, the content of protein and amine nitrogen, as well as the foaming ability were determined.

Despite a significant decrease in the foaming capacity with the use of cold treatment with long-range heat treatment, it was possible to increase its value from 8.7 c to 9.4 c. This value was achieved due to the breakdown of protein structures of the yeast cell and increased activity of hydrolytic enzymes, which contributed to an increase in the concentration of amine nitrogen from 157.5 to 161.0 mg/dm<sup>3</sup>, which are surfactants. It was also revealed that in order to carry out the secondary fermentation of the vi-nomaterial from the selection grape varieties, it is necessary to carry out the selection of yeast.

Thus, the data obtained indicate the possibility of shortening the time of post-aging of the champagne cuvee and improving its foaming ability, as a result of the intensification of wine maturation processes due to increased enzymatic activity of yeast biomass during heat treatment.

**Keywords:** wine material, active dry yeast, foaming ability, amine nitrogen, enzymes, sparkling wines, post-aging, heat treatment.

**Acknowledgements:** The author expresses gratitude for the financial support of the research to the Foundation for the promotion of innovations "UMNIK".

**For citation:** Drozdova, T. A., Ageeva, N. M. & Pospelov, M. V. (2022). Studies of the influence of heat treatments on the quality indicators of sparkling wines. *Polzunovskiy vestnik*, 3, 22-27. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.003

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что интенсификация ферментативных реакций дрожжевой биомассы в процессе послетиражной выдержки кюве зависит от целого ряда факторов [1-9, 12].

Исследование биохимических процессов формирования игристых вин предполагает установление сущности сложных процессов, связанных с изменением состава и содержания азотистых веществ, ферментов и специфических показателей качества игристых вин.

Для изучения влияния термических обработок на вовлечение азотистых соединений в процессы метаболизма клеток по содержанию аминного и белкового азота, которые являются источниками ПАВ.

В биохимических процессах, протекающих при получении виноматериалов и при шампани-

зации, большую роль играют биологические катализаторы этих реакций – ферменты.

Перешедшие из дрожжей ферменты ускоряют в вине различные биохимические процессы, поэтому определение данных ферментов было необходимо для изучения их ферментативной активности в процессе послетиражной выдержки с применением термических обработок.

Модель кюве шампанского подвергали комбинации термических обработок с целью интенсификации процесса созревания кюве при послетиражной выдержки.

Модель тиража, прошедшего стадию вторичного брожения, подвергали следующим обработкам:

– холодом в течении 4 суток при температуре минус 3 °С с последующей выдержкой при 12 °С 1,5 месяца (образец 1);



– холодом в течении 2 суток при температуре минус 3 °С с последующей обработкой теплом в течении 2 суток при температуре 30 °С с последующей выдержкой при 12 °С 1,5 месяца (образец 2);

– теплом в течении 4 суток при температуре 30 °С с последующей выдержкой при 12 °С 1,5 месяца (образец 3);

– теплом в течении 2 суток при температуре 30 °С с последующей обработкой холодом в течении 2 суток при температуре минус 3 °С с последующей выдержкой при 12 °С 1,5 месяца (образец 4).

Контролем служил образец кюве прошедший послетиражную выдержку при 12 °С в течение 3 месяцев.

Цель настоящей работы – изучить влияние температурных режимов послетиражной выдержки игристого вина на изменение физико-химических и биохимических показателей и, как следствие, существенное сокращение сроков выдержки и улучшение качества готового продукта.

Исследования проводили в условиях вторичного брожения и послетиражной выдержки

тиражной смеси, составленной на основе купажа столовых сухих виноматериалов Цитронный Магарача и Кристалл, разводки активных сухих дрожжей и тиражного ликера.

Вторичное брожение проводили при температуре 12 °С в условиях моделирования процесса, исключающего герметизацию системы.

Определение физико-химических показателей вин проводилось согласно действующей в РФ нормативной документации, а также с использованием общепринятых методик [10,11].

Для анализа химического и биохимического состояния тиражной смеси до и после вторичного брожения, в процессе её послетиражной выдержки, определяли: массовые концентрации аминного азота и белкового азота, активность ферментов о-дифенолоксидазы (о-ДФО) и β-фруктофуранозидазы (β-ФФ), пептидазы и эстеразы [12].

Физическо-химическое состояние смеси оценивали по показателю пенообразующей способности (F, с) инструментальным методом, с использованием анализатора пенообразования АПШ-1 [13].

Данные результатов проведенных исследований представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Влияние технологических обработок на физико–химические показатели тиражной смеси  
Table 1 – The effect of technological treatments on the physico–chemical parameters of the batch mixture

Испытуемая единица	Объемная доля этилового спирта, % об.	Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм <sup>3</sup>	Массовая концентрация летучих кислот, г/дм <sup>3</sup>	Пенообразующая способность, с
Исходный в/м	12,9	7,6	0,66	42,5
Контроль	12,9	6,7	0,90	8,7
Образец 1	12,9	6,8	0,72	7,5
Образец 2	12,9	7,4	0,78	9,4
Образец 3	12,9	6,9	0,84	6,8
Образец 4	12,9	6,8	1,14	7,4

Анализ данных (табл.1) показывает, что при обработке шампанизированного вина холодом при температуре минус 3 °С (образец 1), а также при комплексной обработке холодом с последующим нагреванием (образец 2) накопление летучих кислот происходит в меньшей степени, по нашему мнению, это связано с интенсификацией процесса эфиобразования, который усиливается при увеличении активности гидролитических ферментов.

Значительное увеличение массовой концентрации титруемых кислот в образце 2, связано с частичным растворением солей винной кислоты после нагревания.

Также анализ влияния термообработок на качество исследуемых образцов показал, что при вторичном брожении с последующей

послетиражной выдержкой происходит значительное снижение значения пенообразующей способности (F, с) по сравнению с исходным виноматериалом (рис.12), что является недопустимым. Такое резкое снижение показателя пенообразующей способности можно объяснить свойствами дрожжей.

Использованные в работе АСД Lalvin K1V–1116 заявлены производителем в качестве дрожжей, подходящих для проведения вторичного брожения. Однако мы считаем, что производитель, делая вывод о пригодности микроорганизмов, основывался на данных испытаний, проведенных на виноматериалах, приготовленных из классических сортов винограда. В связи с этим возникает необходи-

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИГРИСТЫХ ВИН

мость при производстве игристых вин из селекционных сортов винограда проводить отдельный подбор микроорганизмов с технологической апробацией образцов.

Несмотря на высокое пенообразование в

исходном виноматериале, в образце 2 значение показателя F, с равно 9,4 с в то время как в контрольном образце данное значение равно 8,7 с (табл. 1).

Таблица 2 – Влияние технологических обработок на биохимические показатели тиражной смеси  
Table 2 – The effect of technological treatments on the biochemical parameters of the batch mixture

Испытуемая единица	Массовая концентрация белков, мг/дм <sup>3</sup>	Массовая концентрация аминного азота, мг/дм <sup>3</sup>
Исходный в/м	21,8	94,5
Контроль	16,0	157,5
Образец 1	14,7	154,0
Образец 2	13,0	161,0
Образец 3	19,6	157,5
Образец 4	18,4	157,5

Полученные данные указывают на то, что наибольшие благоприятные условия для активности ферментов были в образце 2. За счет термической обработки холодом в течении 2 суток при температуре минус 3 °С с последующей обработкой теплом в течении 2 суток при температуре 30 °С происходит автолиз дрожжевой биомассы, в результате которого переходящие в вино ферменты дрожжевой клетки находятся в активном состоянии и в процессе последующей выдержки интенсифицируют процесс гидролиза молекулы белка.

Тем самым, увеличивается концентрация аминокислот вина, обладающих выраженным поверхностно-активным действием.

В связи с полученными данными представляют интерес изучения активности ферментов не только гидролитической группы, так и группы оксидаз. При повышенных температурах тепловой обработки может происходить ускорение скорости окислительно-восстановительных реакций, но при этом может активироваться ферментативное действие о-ДФО, что приведет к появлению тону окисленности готового продукта.

Таблица 3 – Влияние технологических обработок на ферментативную активность тиражной смеси

Table 3 – The effect of technological treatments on the enzymatic activity of the circulation mixture

Испытуемая единица	Активность β-ФФ, у.е.	Активность о-ДФО, у.е.	Активность протеиназы, у.е.	Активность эстеразы, у.е.
Исходный в/м	160,0	0,34	24,5	3,0
Контроль	50,0	–	80,5	2,0
Образец 1	13,0	–	66,5	0,4
Образец 2	30,0	–	63,0	2,0
Образец 3	90,0	–	52,5	0,8
Образец 4	10,0	–	45,5	0,8

Как показали исследования (табл. 3), активность ферментов в исходном виноматериале достаточно высокая. При прохождении вторичного брожения происходят интенсивные биохимические реакции. Так при шампаннизации ингибируется о-дифенолоксидаза (о-ДФО), активность эстеразы изменилась незначительно (рис.1).

При исследовании активности пептидазы (рис. 1) видно, что происходит её активация, так в исходном виноматериале ее активность составляет 24,5 усл.ед., то в шампанизируемом вине 3 месяцев выдержки равна

80,5 усл.ед. В зависимости от вида термических обработок в процессе послетиражной выдержки ферментативная активность протеиназы колебалась от 45,5 усл.ед. до 66,5 усл.ед., что говорит о том, что в процессе автолиза дрожжей ферментно-белковые комплексы распадаются, при этом происходит переход протеиназ в активное состояние, что вызывает гидролиз структурных белков дрожжевой клетки.

По результатам анализа можно сделать вывод, что термообработка кюве в процессе послетиражной выдержки интенсифицирует

ферментативную активность дрожжевой биомассы, приводящую к ускорению процесса созревания продукта и, как следствие, формирование оптимальных органолептических и физико-химических показателей. Из приведенных данных видно, что наилучшими условиями для активности ферментов наблюдается в образец 2.

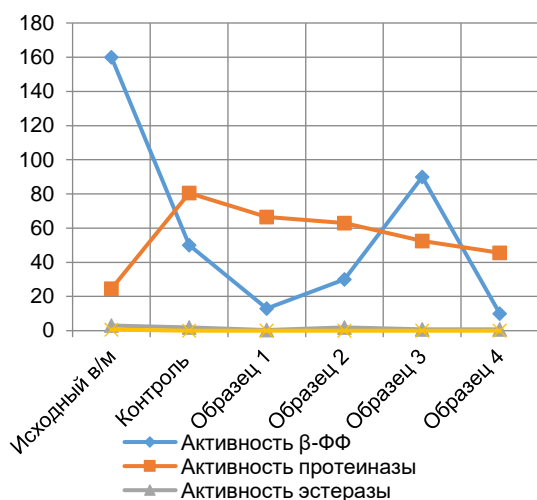


Рисунок 1 – Динамика изменения активности ферментов

Figure 1 – Dynamics of changes in enzyme activity

### ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам анализа можно сделать вывод, что термообработка кюве в процессе послетиражной выдержки интенсифицирует ферментативную активность дрожжевой биомассы, приводящую к ускорению процесса созревания продукта и, как следствие, формирование оптимальных органолептических и физико-химических показателей. Из приведенных данных видно, что наилучшими условиями для активности ферментов наблюдается в образец 2.

На основании полученных данных можно сделать вывод о целесообразности данного исследования. К тому же, результаты показали необходимость расширения диапазона эксперимента с целью апробации автохтонных сортов винограда для производства игристых вин.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные исследования, позволяют сделать следующие выводы:

- установлено, что комплексная обработка (холодом в течении 2 суток при температуре минус 3 °С с последующей обработкой теплом в течении 2 суток при температуре 30

°С с последующей выдержкой при 12 °С 1,5 месяца) позволят получить вино с оптимальными физико-химическими характеристиками.

- используемые комплексные обработки позволяет корректировать активность ферментов, что обеспечивает улучшение качества готового продукта.

- анализ обработанного кюве позволил сделать вывод о высоком накоплении биохимических компонентов, которые способствуют улучшению качества продукции и сокращению срока послетиражной выдержки.

- доказано, что применение универсальных штаммов дрожжей недопустимо при применении виноматериалов из селекционных сортов винограда.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерджаниан А.А. Физико-химия игристых вин. М: Пищевая промышленность. 1979. 271 с.
2. Martínez-Lapuente L., Ayestarán B., ZenaidaGuadalupe Z. Influence of Wine Chemical Compounds on the Foaming Properties of Sparkling Wines. In A. M. Jordão, & F. Cosme (Eds.), Grapes and Wines - Advances in Production, Processing, Analysis and Valorization. Intech Open. 2017. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70859>
3. Авакянц С.П. Биохимические основы технологии шампанского. М: Пищевая промышленность. 1980. 351с.
4. Исследование процессов ферментативного созревания тиража шампанского при термических обработках / Т. А. Дроздова, М. В. Мишин, О. Р. Таланян // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2017. № 5-6(359-360). С. 81-83.
5. Leticia Martínez-Lapuente, Zenaida Guadalupe, Belén Ayestarán, Silvia Pérez-Magariño, Role of major wine constituents in the foam properties of white and rosé sparkling wines, Food Chemistry, Volume 174, 2015, Pages 330-338, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.080>.
6. Макаров А.С. Производство шампанского/ А.С. Макаров, под ред. Г.Г. Валушко. Симферополь: Таврия, 2008. 416 с.
7. Cristina Ubeda, Ingeborg Kania-Zelada, Rubén del Barrio-Galán, Marcela Medel-Marabolí, Marion Gil, Álvaro Peña-Neira, Study of the changes in volatile compounds, aroma and sensory attributes during the production process of sparkling wine by traditional method, Food Research International, Volume 119, 2019, Pages 554-563, ISSN 0963-9969, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.032>.
8. Татевосян И.А. Совершенствование технологии производства игристых вин на основе интенсификации биохимических процессов. Автореф. дис. канд. техн. наук: М.: 2011. 25с.
9. Saionara Sartor, Vívian Maria Burin, Vinícius Caliani, Marilde T. Bordignon-Luiz, Profiling of free amino acids in sparkling wines during over-lees aging and evaluation of sensory properties, LWT, Volume 140, 2021, 110847, ISSN 0023-6438, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110847>.
10. ГОСТ 33336-2015 Вина игристые. Общие технические условия. Введен в действие приказом Федерального агентства по техническому

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИГРИСТЫХ ВИН

регулированию и метрологии от 3 августа 2015 г. N 1036-ст с 1 января 2017 г.

11. Гержикова, В.Г. Методы технохимического контроля в виноделии 2-е издание, переработано и дополнено // Симферополь: Таврида. 2009. 304 с.

12. Авакянц С.П., Шакарова Ф.И. Биохимические и микробиологические методы исследования дрожжей и вина. М.: ЦНИИТЭИ пищедром, 1971. 40 с.

13. Implementation of techniques and design of equipment for the production of the food liquids / T. Drozdova, A. Biryukov, N. Kachaeva [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: International Conference "Actual Trends in Radiophysics", Tomsk, 01–04 октября 2019 года. Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012003. DOI 10.1088/1742-6596/1499/1/012003.

### Информация об авторах

*Т. А. Дроздова – аспирант кафедры «Технологии виноделия, бродильных производств, сахаристых и пищевкусковых продуктов имени профессора А. А. Мерзханиана» Кубанский государственный технологический университет.*

*Н. М. Агеева – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии виноделия, бродильных производств, сахаристых и пищевкусковых продуктов имени профессора А. А. Мерзханиана» Кубанский государственный технологический университет.*

*М. В. Поспелов – студент кафедры «Технологии виноделия, бродильных производств, сахаристых и пищевкусковых продуктов имени профессора А. А. Мерзханиана» Кубанский государственный технологический университет.*

### REFERENCES

1. Merzhanian, A.A. (1979). Physico-chemistry of sparkling wines. Moscow: Food industry. (In Russ.).

2. Martínez-Lapuente, L., Ayestarán, B., & Zenaida Guadalupe, Z. (2017). Influence of Wine Chemical Compounds on the Foaming Properties of Sparkling Wines. In A. M. Jordão, & F. Cosme (Eds.), Grapes and Wines - Advances in Production, Processing, Analysis and Valorization. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70859>

3. Avakyants, S.P. (1980). Biochemical fundamentals of champagne technology. Moscow: Food industry. (In Russ.).

4. Drozdova, T. A., Mishin, M.V. & Talanyan, O.R. (2017). Investigation of the processes of enzymatic maturation of champagne circulation during heat treatments. News of higher educational institutions. Food technology, (5-6), 81-83. (In Russ.).

5. Leticia Martínez-Lapuente, Zenaida Guadalupe, Belén Ayestarán & Silvia Pérez-Magariño (2015). Role of major wine constituents in the foam properties of white and

rosé sparkling wines. Food Chemistry, (174), 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.080>.

6. Makarov, A.S. (2008). Champagne production. Simferopol: Tavria.

7. Cristina Ubeda, Ingeborg Kania-Zelada, Rubén del Barrio-Galán, Marcela Medel-Marabolí, Mariona Gil & Álvaro Peña-Neira. (2019). Study of the changes in volatile compounds, aroma and sensory attributes during the production process of sparkling wine by traditional method. Food Research International, (119), 554-563. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.032>.

8. Tatevosyan, I.A. (2011). Improvement of sparkling wine production technology based on intensification of biochemical processes. Moscow. (In Russ.).

9. Saionara Sartor, Vivian Maria Burin, Vinícius Caliarí & Marilde T. Bordignon-Luiz. (2021). Profiling of free amino acids in sparkling wines during over-lees aging and evaluation of sensory properties. LWT, (140), 110847. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110847>.

10. Sparkling wines. General specification (2015). GOST 33336-2015 from 1 January 2017. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

11. Gerzikova, V.G. (2018). Methods of technochemical control in winemaking 2nd edition, revised and supplemented. Simferopol: Tavriada.

12. Avakyants, S.P. & Shakarova F.I. (1971). Biochemical and microbiological methods of yeast and wine research. Moscow: Tsniiteipishcheprom, 1971. (In Russ.).

13. Drozdova, T.A, Biryukov, A.P, Kachaeva N.Yu. , Nazarenko, M.A., Strukova, V.E. & Stribizheva, L.I. (2020). Implementation of techniques and design of equipment for the production of the food liquids. Journal of Physics: Conference Series: International Conference «Actual Trends in Radiophysics». Tomsk: Institute of Physics Publishing, 012003. DOI 10.1088/1742-6596/1499/1/012003.

### Information about the authors

*T. A. Drozdova – Postgraduate student of the Department of "Technologies of Winemaking, Fermentation, sugary and food-flavored Products named after Professor A. A. Merzhanian" Kuban State Technological University.*

*N. M. Ageeva – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technologies of Winemaking, Fermentation, sugary and pi-schevkusovyh products named after Professor A. A. Merzhanian" Kuban State Technological University.*

*M. V. Pospelov – student of the Department of "Technologies of Winemaking, fermentation, sugary and food-flavored products named after Professor A. A. Merzhanian" Kuban State Technological University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*



Научная статья

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

УДК 664.681.9

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.004

 EDN: UHEJXK

## ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛБЯНОЙ МУКИ И СВЕКЛОВИЧНЫХ ВОЛОКОН В ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Надежда Сергеевна Санжаровская<sup>1</sup>, Диана Владиславовна Романенко<sup>2</sup>,  
Мира Мамед кызы Рзаева<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

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

<sup>2</sup> dianaromrom@mail.ru

<sup>3</sup> kama\_995@mail.ru

**Аннотация.** Разработка рецептуры маффинов с добавлением обогащающих добавок полностью совпадает с тенденциями мирового рынка кондитерской отрасли и заботой потребителей о своем здоровье. Цель исследований – разработка рецептуры и технологии маффинов повышенной пищевой ценности и обогащение их эссенциальными веществами за счет использования полбяной муки и свекловичных волокон. В качестве объектов исследований использовали: мучную смесь, состоящую из пшеничной и полбяной муки в соотношении 60 : 40, свекловичные волокна, лабораторные образцы маффина. Выполнено исследование влияния свекловичных волокон на хлебопекарные, функциональные свойства мучной смеси и качество готовых изделий. В мучную смесь добавляли свекловичные пищевые волокна, диапазон которых варьировал от 5 до 15 % от массы мучной смеси. Доказано, что внесение свекловичных волокон в диапазоне 5...10 % снижает количество сырой клейковины, при этом происходит укрепление клейковинного каркаса. При дозировке вносимой добавки 12,5...15,0 % - клейковина не отмывается. Показано, что с увеличением дозировки свекловичных волокон происходит увеличение водосвязывающей и жиросвязывающей способности мучной смеси. Установлено, что маффины со свекловичными волокнами в дозировке 7,5 % имеют высокие органолептические и физико-химические показатели качества. Практическим путем определено, что внесение свекловичных волокон и композитной смеси в рецептуру маффина повышает содержание функциональных пищевых ингредиентов в готовой продукции. Разработана технология и рецептура на мучные кондитерские изделия маффин «Осенний».

**Ключевые слова:** свекловичные волокна, пищевые волокна, полбяная мука, маффин, качество.

---

**Для цитирования:** Санжаровская Н. С., Романенко Д. В., Рзаева М. М. Разработка рецептуры и технологии маффинов с использованием полбяной муки и свекловичных волокон // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 28 - 36. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.004. EDN: <https://elibrary.ru/uhejxk>.

---

Original article

## EXPEDIENCY OF USING SPELT FLOUR AND BEET FIBERS IN THE TECHNOLOGY OF FLOUR CONFECTIONERY

Nadezhda S. Sanzharovskaya<sup>1</sup>, Diana V. Romanenko<sup>2</sup>, Mira M. Rzayeva<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

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

<sup>2</sup> dianaromrom@mail.ru

<sup>3</sup> kama\_995@mail.ru

**Abstract.** *The development of the muffin recipe with the addition of enriching additives fully coincides with the trends of the world market of the confectionery industry and the concern of consumers about their health. The purpose of the research is to develop the formulation and technology of muffins of increased nutritional value and enrich them with essential substances through the use of spelt flour and beet fibers. The following research objects were used: flour mixture consisting of wheat and spelt flour in a ratio of 60 : 40, beet fiber, laboratory samples of muffin. The study of the influence of beet fibers on the baking, functional properties of flour mixture and the quality of finished products was carried out. Beetroot dietary fibers were added to the flour mixture, the range of which varied from 5 to 15 % of the mass of the flour mixture, it was proved that the introduction of beetroot fibers in the range of 5... 10 % reduces the amount of raw gluten, while strengthening the gluten framework. At the dosage of the added additive 12.5 ... 15.0 % - gluten is not washed off. It is shown that with an increase in the dosage of beet fibers, there is an increase in the water-binding and fat-binding ability of the flour mixture. It was found that muffins with beet fiber in a dosage of 7.5 % have high organoleptic and physico-chemical quality indicators. Practically, it was determined that the introduction of beet fibers and a composite mixture into the muffin recipe increases the content of functional food ingredients in the finished product. The technology and recipe for flour confectionery muffin "Autumn" has been developed.*

**Keywords:** *beet fiber, dietary fiber, spelt flour, muffin, quality.*

**For citation:** Sanzharovskaya, N.S., Romanenko, D.V., Rzayeva, M.M. (2022). *Expediency of using spelt flour and beet fibers in the technology of flour confectionery. Polzunovskiy vestnik, (3), 28-36. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.004.*

Мучные кондитерские изделия пользуются большим спросом и занимают весомое место в питании населения нашей страны. При этом стремительное распространение в мире установок на здоровый образ жизни способствует повышению спроса на мучные изделия оздоровительного назначения. Учитывая современные требования к питанию, актуальным является вопрос усовершенствования технологии мучных кондитерских изделий, обогащенных биологически активными веществами [1].

Регулирование химического состава мучных кондитерских изделий с целью разработки продукции с повышенной пищевой ценности – это путь создания ассортимента нового поколения [2-3].

Тенденцией последних десятилетий стало применение технологий пищевых продуктов, предусматривающих использование рафинированного сырья, которое освобождено от большинства

полезных пищевых веществ. Как следствие, такие пищевые продукты не содержат ряд жизненно необходимых веществ, в том числе пищевых волокон, что приводит к снижению последних в ежедневных рационах питания населения [4].

Результатом этих изменений в структуре питания населения, особенно на фоне незначительной физической нагрузки, является снижение сопротивления организма отрицательному влиянию окружающей среды и прогрессивный рост ряда заболеваний, которые носят глобальный характер и получили общее название «болезни цивилизации». Поэтому перед учеными и специалистами пищевой промышленности остро стоит вопрос разработки технологий продуктов питания, которые будут обогащены пищевыми волокнами [5].

Пищевые волокна, с одной стороны, являются физиологически функциональными ингредиентами, которые способны оказывать

благоприятное физиологическое воздействие на отдельные системы организма человека, а с другой – обладают технологическими свойствами пищевых добавок и способны регулировать структуру и качество продукции.

Анализ публикаций по опыту повышения пищевой ценности хлебобулочных и мучных кондитерских изделий позволил выделить следующие пути их обогащения пищевыми волокнами:

– целостное использование сырья, содержащего пищевые волокна, например, цельного зерна традиционных и нетрадиционных зерновых культур, муки из цельносмолотого зерна, зерновых смесей и т.п.;

– добавление вторичных продуктов с высоким содержанием пищевых волокон (отрубей, шротов и жмыхов масличных и технических культур, плодово-ягодных и овощных порошков, концентратов, свекловичного жома);

– введение очищенных препаратов-концентратов пищевых волокон, которые выделены из злаков, вторичного или нетрадиционного растительного сырья – целлюлозы и ее производных, микрокристаллической целлюлозы, пектина, камедей, яблочных пищевых волокон и т.п. [6].

Учитывая важность задачи создания пищевых продуктов с повышенным содержанием пищевых волокон, нами изучается возможность применения новых добавок в технологиях мучных кондитерских изделий, в частности в производстве маффинов оздоровительного назначения [7].

Маффины – штучные кондитерские изделия, обычно выпекаемые в формах, часто бумажных, и имеющие небольшую массу (60...100 г). Маффины сочетают в себе легкую, нежную структуру бисквитов, пористость кексов, но имеют свою индивидуальность. Ассортимент маффинов насчитывает несколько десятков видов и условно делится на сладкие и несладкие, с начинкой (кремом, джемом и т.д.), а также разнообразными добавками к тесту (орехами, сухофруктами и т.п.). За последние десятилетия маффины стали активно продаваться на отечественном рынке – как в торговых сетях, так и на предприятиях HoReCa (включая «фаст-фуд»), как сопутствующие товары на АЗС (вместе с кофе и чаем) [8].

Следует признать, что поскольку это достаточно новый вид мучной продукции, четкого понимания о том, какими должны

быть качественные маффины – ни у потребителей, ни у производителей нет. К этому приводит и отсутствие в специальной отечественной литературе данных об особенностях их технологии и нормативной документации, которая регламентировала бы требования к качеству. Не может не беспокоить тот факт, что некоторые крупные производители, выпуская маффины, ссылаются на ГОСТ 15052-2014 «Кексы. Общие технические условия», что не является правомерным, поскольку этот нормативный документ касается совсем других изделий. Несмотря на схожесть основных ингредиентов рецептуры, существуют существенные отличия, как по рецептурному составу, так и по технологическим способам их изготовления.

Маффины имеют уникальную технологию производства (Muffin Mixing Method), которую еще называют методом смешивания сухих и жидких компонентов. Сначала тщательно смешивают и просеивают сухие ингредиенты, затем все жидкие смешивают до однородности, после чего вливают жидкую смесь в сухую и быстро перемешивают [9].

Маффины, как большинство мучных изделий, имеют повышенную энергетическую ценность и содержание легкоусвояемых углеводов и практически не содержат пищевых волокон. Применение различных способов очистки первичного сырья в ходе технологической обработки приводит к получению высокоочищенных пищевых продуктов и устойчивого дефицита в них комплекса биополимеров (целлюлозы, гемицеллюлоз, пектиновых веществ), которые являются незаменимыми компонентами природной неочищенной пищи, и как следствие, снижению последних в ежедневных рационах питания населения. Учитывая особенности рецептурного состава, эти изделия являются идеальными для придания им функциональных свойств.

В качестве обогатителя предлагается использовать полбяную муку и свекловичные волокна. Альтернативные виды муки являются достаточно перспективным решением проблемы улучшения потребительских свойств кондитерских изделий. В зерне пшеницы полбы, наряду с высоким содержанием белка, содержится значительное количество резистентного крахмала, клетчатки, каротин подобных пигментов и антиоксидантов.

Содержание водорастворимых фракций белка пшеницы полбы может достигать 60 %

## ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛБЯНОЙ МУКИ И СВЕКЛОВИЧНЫХ ВОЛОКОН В ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

от его общего количества в зерне. Белковые компоненты в клейковине пшеницы полбы содержат меньше аллергенных элементов, чем пшеница, что дает возможность использовать ее зерно и продукты переработки для здорового питания [10].

Свекловичные волокна представляют собой однородный порошок светло-кремового цвета с нейтральным вкусом и запахом. Содержание в них пищевых волокон достигает до 75 %, что позволяет считать данную добавку фактически препаратом этих веществ. Кроме того, свекловичная добавка содержит до 10 % белка, 3,5 % – сахарозы и 3,5 % – минеральных веществ [11].

**Методы.** Целью исследования является разработка рецептуры и технологии маффинов повышенной пищевой ценности и обогащение их эссенциальными веществами

за счет использования полбяной муки и свекловичных волокон.

Основными объектами являются:

- мучная смесь, состоящая из пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта и полбяной муки в соотношении 60 : 40;
- свекловичные волокна;
- лабораторные образцы маффина.

Показатели качества свекловичных волокон, используемых в эксперименте, представлены в таблице 1.

Контролем служил образец маффинов, приготовленный по рецептуре на маффин «Детский».

Исследования по определению качества сырья и готовых изделий проводили с использованием общепринятых и специальных методов.

Таблица 1 – Качественные характеристики свекловичных волокон

Table 1 – Qualitative characteristics of beet fibers

Показатель	Значение показателя
Внешний вид	Тонкоизмельченный порошок без посторонних и крупных включений
Вкус	Нейтральный
Запах	Свойственный очищенным от свекловичного запаха сушеным волокнам
Цвет	Светло-бежевый
Массовая доля влаги, %	8,8
Активная кислотность, pH	5,7
Водосвязывающая способность, г/1 г	5,2
Массовая доля пектиновых веществ, % на сухое вещество:	
- водорастворимых	5,2
- протопектин	15,4

**Результаты и их обсуждение.** В современном мире, при создании высококачественных продуктов питания на первый план выходят подбор и обоснование выбранных добавок в таких соотношениях, которые обеспечивают достижение максимального качества готовым изделиям. Кроме того, правильно выбранное соотношение позволит получить хорошие органолептические показатели и придать продукции высокие потребительские и функциональные свойства.

Комплексный анализ научных публикаций и результаты собственных исследований показали, что до 40 % пшеничной муки может подвергаться замене на муку из полбы [10, 12]. Последующие эксперименты проводили на модельных образцах теста, состоящего из мучной смеси, воды и различных дозировок свекловичных пищевых волокон. Для этого в

мучную смесь добавляли пищевые волокна, диапазон которых варьировал от 5 до 15 % от массы мучной смеси.

В роли контрольных использовали образцы теста из мучной смеси без добавок свекловичных волокон.

Было изучено влияние свекловичных волокон на хлебопекарные свойства мучной смеси (табл. 2).

Характер изменения в содержании сырой клейковины показал, что при внесении свекловичных волокон в диапазоне 5,0...10 % количество сырой клейковины снижается на 10,9...33,3 %, по мере увеличения вносимой добавки от 12,5 до 15,0 % - клейковина не отмывалась.

Оценивая влияние свекловичных волокон на качество клейковины, следует отметить, что внесение добавки в исследуемом диапазоне положительно влияет на укрепле-



ние клейковинного каркаса. По мере увеличения в смеси волокон сопротивление клейковины деформирующей нагрузке сжатия на приборе ИДК увеличивается и ее показатель

уменьшается на 3,0...27,3 единиц. Это видно и по растяжимости клейковины над линейкой, которая снижается на 10,3...23,1 % по сравнению с контролем.

Таблица 2 – Влияние процентного содержания свекловичных волокон на хлебопекарные свойства мучной смеси

Table 2 – The effect of the percentage of beet fiber on the baking properties of the flour mixture

Содержание свекловичных волокон, %	Количество клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Растяжимость, мм	Число падения, с
0,0	26,8±0,2	81,3±1,2	117±5	381±3,8
5,0	23,9±0,0	78,3±1,3	105±3	337±4,6
7,5	20,2±0,1	60,0±1,1	100±4	333±2,2
10,0	17,9±0,4	54,0±1,2	90±5	327±3,1
12,5	–	–	–	321±2,9
15,0	–	–	–	309±4,4

Внесение свекловичных волокон в модельные образцы приводит к незначительному снижению время разжижения водно-мучной суспензии. По мере увеличения в смеси свекловичных волокон от 5,0 до 15,0% снижение показателя число падения составляет 11,5...18,9 % по сравнению с контрольным образцом.

Поскольку пищевые свекловичные волокна содержат в своем составе большое количество полисахаридов, возникла необходимость оценить их влияние на функционально-технологические свойства мучной смеси, которые будут оказывать влияние на процесс изготовления теста и качество готовых мучных изделий.

Как известно, способность полисахаридов удерживать воду связана со степенью гидрофильности, составом и количеством присутствующих в них биополимеров. Пекти-

новым веществам и гемицеллюлозе свойственна высокая степень гидрофильности. Целлюлоза, которая не растворяется в воде, имеет большое количество гидроксильных групп и несколько меньшую гидрофильность по сравнению с выше указанными полисахаридами. Лигнин, являясь веществом полифенольной природы, обладает наименьшими гидрофильными свойствами по сравнению с другими биополимерами. Чем выше гидрофильные свойства полимера, тем большее количество воды он способен связать и определенным образом повлиять на протекание коллоидных и физико-химических процессов, происходящих во время замешивания теста.

В связи с этим, нами была определена водо- и жиросвязывающая способность мучных смесей, содержащих добавку (рис.1).

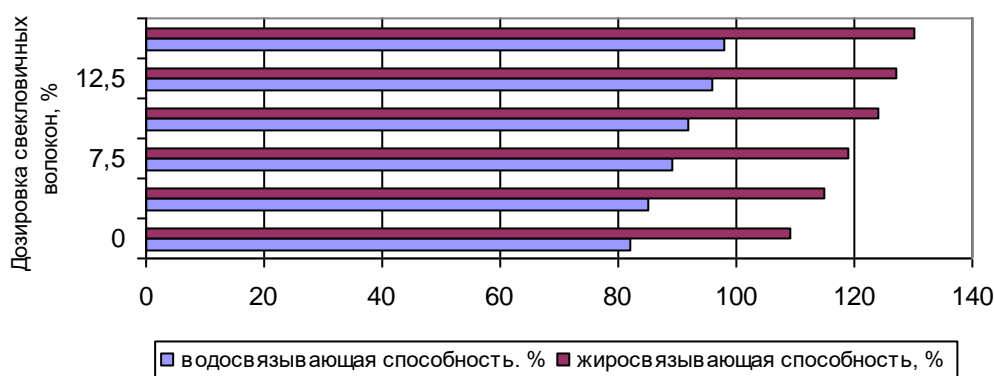


Рисунок 1 - Влияние процентного содержания свекловичных волокон на функциональные свойства мучной смеси

Figure 1 - The effect of the percentage of beet fiber on the functional properties of the flour mixture

## ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛБЯНОЙ МУКИ И СВЕКЛОВИЧНЫХ ВОЛОКОН В ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В ходе анализа сделан вывод, что свекловичные волокна оказывают влияние на функциональные свойства мучной смеси. С увеличением дозировки вносимой добавки от 5 до 15 % увеличение показателя жиросвязывающей способности составляет 5,5...19,30 %, водосвязывающей – 3,7...19,5 % по сравнению с контрольным образцом.

Внесение обогащающих добавок, повышающих пищевую и биологическую ценность продукции, не всегда положительно влияет на качество готовых изделий. Поэтому далее были исследованы органолептические и физико-химические показатели качества маффинов с применением опытных добавок (табл. 3).

Таблица 3 – Органолептические показатели маффинов  
Table 3 – Organoleptic indicators of muffins

Показатель	Дозировка свекловичных волокон, % к массе мучной смеси			
	0	5,0	7,5	10,0
Внешний вид	Форма правильная, с трещинами, без подрывов			Форма правильная, с трещинами и подрывами
Цвет	Корочки - золотистый, мякиша - светло-желтый	Корочки - бежевый, мякиша - желтый		Корочки - коричневый, мякиша - светло-коричневый
Запах	Присущий данному изделию, без постороннего запаха	Присущий данному изделию, приятный, с едва ощутимым запахом добавки		Присущий данному изделию, с приятным запахом добавки
Вкус	Приятный, без посторонних привкусов	Приятный, с едва ощутимым привкусом добавки		Приятный, с привкусом добавки
Состояние мякиша	Мягкий, хорошо разрыхленный		Мягкий, разрыхленный с вкраплениями добавки	

Внешний вид маффинов предполагает наличие трещин на поверхности изделий, которые являются не недостатком, а их органолептической характеристикой. Присутствие свекловичных волокон, в количестве 5,0...7,5 % с заменой мучной смеси не ухудшает внешний вид маффинов. Изделия не уступают контрольному образцу, имеют правильную форму и трещины на поверхности. Увеличение количества добавки до 10,0 % приводит к ухудшению внешнего вида, поскольку на поверхности маффинов появляются подрывы.

Добавление свекловичных волокон изменяет цвет корочки изделий от золотистого (контрольный образец) до коричневого (10,0 %). Цвет мякиша изделий от светло-желтого (контрольный образец) до светло-коричневого (10,0 %).

Запах и вкус маффинов со свекловичными волокнами в количестве 5,0...7,5 % приятный с едва ощутимым запахом и привкусом добавок. Увеличение их дозировки до 10,0 % с заменой мучной смеси придает ярко выраженный запах и привкус

вносимой добавки.

По органолептическим показателям качества образцы маффинов с добавлением свекловичных волокон в количестве 5,0...7,5 % с заменой мучной смеси не уступают контрольному образцу.

Закономерности изменения физико-химических показателей качества приведены на рисунке 2-4.

Влажность изделий с добавлением свекловичных волокон в дозировке от 5 до 10 % увеличивается на 1,43...4,29 % соответственно по сравнению с контрольным образцом.

Удельный объем изделий со свекловичными волокнами снижается незначительно.

Щелочность маффинов уменьшается, что объясняется увеличением доли сырья с кислотностью, выше чем в мучной смеси.

Таким образом, установлено, что маффины со свекловичными волокнами в дозировке 7,5 % имеют хорошие органолептические и физико-химические показатели качества.

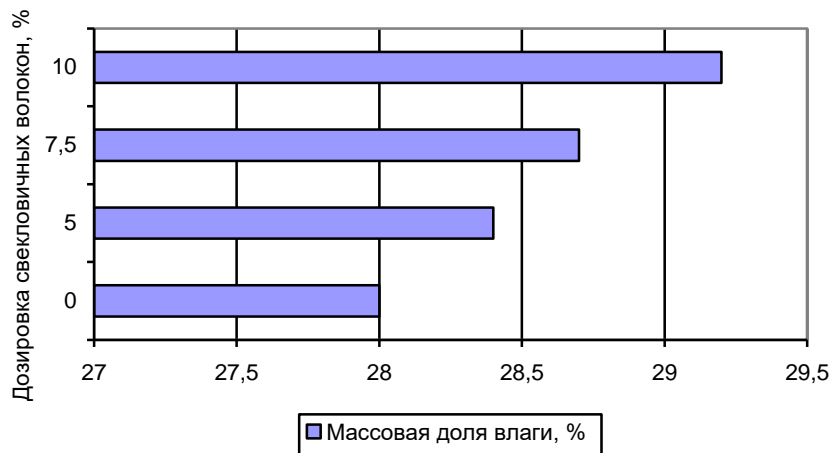


Рисунок 2 – Влияние свековичных волокон на влажность маффинов  
Figure 2 – The effect of beetroot fibers on the moisture content of muffins

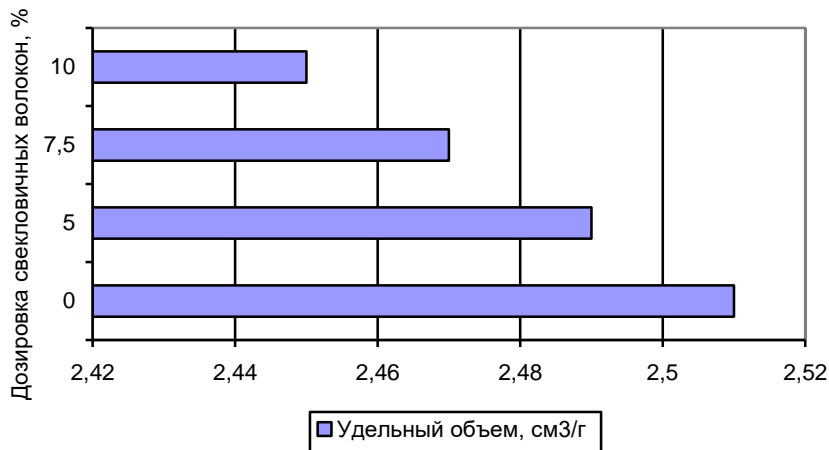


Рисунок 3 – Влияние свековичных волокон на удельный объем маффинов  
Figure 3 – The effect of beet fiber on the specific volume of muffins

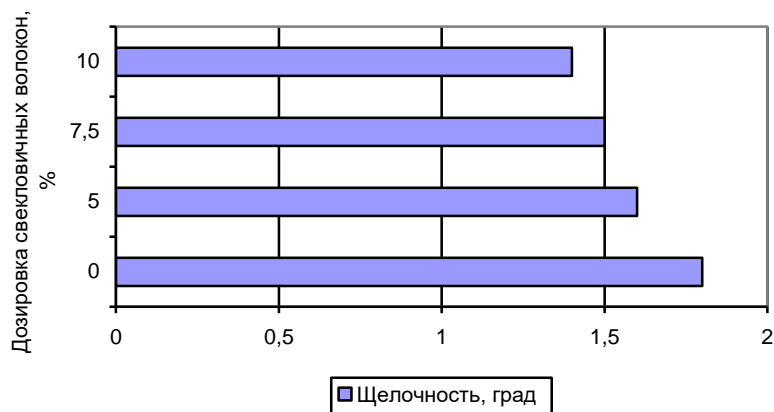


Рисунок 4 – Влияние свековичных волокон на щелочность маффинов  
Figure 4 – The effect of beetroot fibers on the alkalinity of muffins

По результатам проведенных исследований разработана технологическая схема производства мучных кондитерских изделий

на основе мучной смеси пшеничной и полбяной муки с добавлением 7,5 % свековичных волокон: маффин «Осенний» (рис. 5).

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛБЯНОЙ МУКИ И СВЕКЛОВИЧНЫХ ВОЛОКОН  
В ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

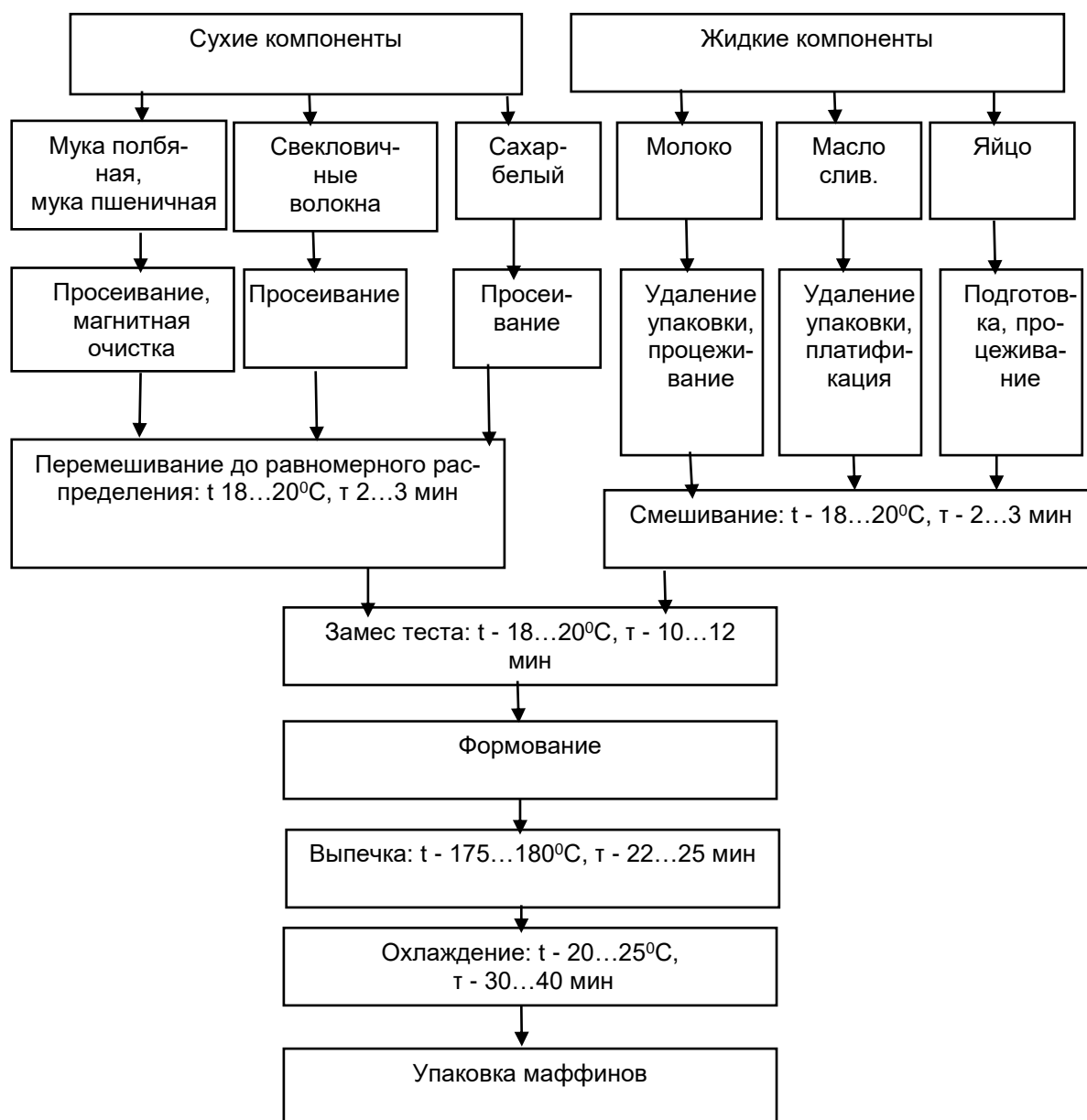


Рисунок 5 – Технологическая схема производства маффина «Осенний»  
Figure 5 – Technological scheme of production of the "Autumn" muffin

Внесение свековичных волокон и мучной смеси в рецептуру маффинов изменяет их химический состав: повышается содержание белка на 7,7 %, пищевых волокон – на 95,9 %, магния – 40,5 %, фосфора – на 31,2, уменьшается содержание углеводов – на 7,9 % и снижается энергетическая ценность – на 4,9 % по сравнению с контролем.

**Заключение.** Исследовано и научно обосновано влияние свековичных волокон на хлебопекарные и функциональные свойства мучной смеси и качество готовых изделий, позволившее разработать технологию и рецептуру на мучные кондитерские изделия маффин «Осенний».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляева А.Н., Воронина М.С. Разработка методологии повышения пищевой ценности полуфабрикатов для мучных кондитерских изделий // Инновации и продовольственная безопасность. 2020. №3. С. 7-13. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-7-13>.
2. Наумова Н.Л. Оценка пищевой полноценности маффина при использовании цельнозерновой муки киноа белой // Инновации и продовольственная безопасность. 2020. №3. С. 47-53. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-47-53>.
3. Kaur R. Kaur M. Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed // LWT – Food Science and Technology. 2018. Vol. 91. P. 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.059>

4. Бец Ю.А., Наумова Н.Л., Минашина И.Н. Функциональные компоненты нетрадиционного сырья в рецептуре хлебобулочных изделий // Инновации и продовольственная безопасность. 2021. №1. С. 7-13. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-31-1-7-1>

5. Миневи́ч И.Э. Осипова Л.Л. Разработка рецептур и оценка качества мучных кондитерских изделий «Льняной маффин» // Хлебопродукты. 2018. №2. С. 44–46.

6. Самохвалова О.В., Касабова К.Р., Олійник С.Г. Вплив збагачувальних добавок на формування структури тіста та випечених маффінів // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 10. С. 32–36.

7. Nasar-Abbas S. M., Jayasena V. Effect of lupin flour incorporation on the physical and sensory properties of muffins // Quality Assurance and Safety of Crops & Foods. 2012. Vol. 4. P. 41–49. <https://doi.org/10.1111/j.1757-837X.2011.00122.x>

8. Красина И.Б., Хашпакянц Е.А., Акимова К.С. Использование пищевых волокон при производстве маффинов // Известия Вузов. Пищевая технология. 2014. №2-3. С.72-75.

9. Апет Т.К., Пашут З.Н. Справочник технолога кондитерского производства. Технологии и рецептуры. СПб.: ГИОРД, 2004. 560 с.

10. Крюкова Е.В. Формирование качества мучных кондитерских изделий с использованием полбяной муки: дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Е. В. Крюкова. Екатеринбург, 2014. 120 с.

11. Современные исследования в области получения пищевых волокон из свежесобранного жома / Семенихин С.О., Городецкий В.О., Лукьяненко М.В., Даишева Н.М. // Новые технологии. 2020. №1 (51). С. 48-57. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2020-10105>

12. Санжаровская Н.С., Сокол Н.В., Храпко О.П. [и др.] Хлебопекарные свойства композитных смесей муки из зерна пшеницы и полбы // Новые технологии. 2018. № 3. С. 60–65.

#### Информация об авторах

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

Д. В. Романенко – магистрант ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им.И.Т. Трубилина».

М. М. Рзаева – магистрант ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им.И.Т. Трубилина».

#### REFERENCES

1. Gulyaeva, A.N. & Voronina, M.S. (2020). Development of a methodology to increase the nutritional value of semi-finished products for flour confectionery. *Innova-*

*tions and Food Safety*, (3), 7-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-7-13>.

2. Naumova, N.L. (2020). Assessment of the nutritional value of a muffin when using whole-grain white quinoa flour. *Innovations and Food Safety*. (3), 47-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-47-53>.

3. Kaur, R. & Kaur, M. (2018). Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed. *LWT – Food Science and Technology*. (91), 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.059>.

4. Betz, Yu.A., Naumova, N.L. & Minashina I.N. (2021). Functional components of non-traditional raw materials in the design of bakery products. *Innovations and Food Safety*. (1), 7-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-31-1-7-1>.

5. Minevich, I.E. & Osipova L.L.(2018). Development of recipes and evaluation of the quality of flour confectionery products "Flax muffin". *Bread products*. (2), 44-46.

6. Samokhvalova, O. V., Kassabova, K. R. & Oleinik S. G. (2014). The influence of enrichment additives on the formation of the structure of dough and baked muffins. *East European Journal of Advanced Technologies*. (10), 32-36.

7. Nasar-Abbas, S. M. & Jayasena V. (2012). Effect of lupin flour incorporation on the physical and sensory properties of muffins. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. (4), 41-49. <https://doi.org/10.1111/j.1757-837X.2011.00122.x>.

8. Krasina, I.B., Khashpakyants, E.A. & Akimova K.S. (2014). The use of dietary fibers in the production of muffins. *Izvestiya Vuzov. Food technology*. (2-3), 72-75.

9. Apet T.K. & Pashut Z.N. (2004) Handbook of the technologist of confectionery production. Technologies and recipes. Saint Petersburg: GIORD. P.560.

10. Kryukova E.V. (2014). Formation of the quality of flour confectionery products using spelled flour: dis. ... Cand. tech. Sciences: Yekaterinburg. P. 120.

11. Semенихин, S.O., Gorodetsky, V.O. & Lukjanenko, M.V. [et al.] (2020) Contemporary studies in the field of dietary fibers isolation from sugar beet pulp. *Novye Tehnologii*. (1), 48-57. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2020-10105>

12. Sanzharovskaya, N.S., Sokol, N.V. & Khrapko O.P. (2018). Baking properties of composite mixtures of flour from wheat and spelled grain. *New technologies*. (3), 60-65.

#### Information about the authors

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

D. V. Romanenko – undergraduate student of Kuban State Agrarian University.

M. M. Rzaeva – undergraduate student of Kuban State Agrarian University.

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

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.



Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)  
УДК 664.664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.005



## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С АМАРАНТОВОЙ МУКОЙ И ЦИКОРИЕМ

Кристина Романовна Романцова <sup>1</sup>, Лариса Егоровна Мелёшкина <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

<sup>1</sup> kristina.romatsova.98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5169-8347>

<sup>2</sup> meleshkina\_le@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0812-3630>

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты оценки потребительских предпочтений в отношении обогащенных хлебобулочных изделий. Установлена частота потребления хлебобулочных изделий, а также отношение потребителей к новым обогащенным видам хлебобулочной продукции. Выявлены виды обогащающих добавок, удовлетворяющие потребителей, установлены критерии выбора. Проведена экспертная оценка органолептических характеристик и физико-химических показателей амарантового хлеба с цикорием. Предложена рецептура хлебобулочного изделия с амарантовой мукой и цикорием, установлено, что изделие является функциональным по содержанию сквалена и инулина.

**Ключевые слова:** хлеб заливной, амарантовая мука, цикорий, сквален, инулин, физико-химические показатели, органолептическая оценка.

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

---

**Для цитирования:** Романцова, К.Р., Мелёшкина, Л.Е. Исследование и разработка хлебобулочных изделий с амарантовой мукой и цикорием // Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 37 – 42. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.005. EDN: <https://elibrary.ru/QJCUDI>.

---

Original article

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF BAKERY PRODUCTS WITH AMARANTH FLOUR AND CHICORY

Kristina Romanovna Romantsova<sup>1</sup>, Larisa Egorovna Meleshkina <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> kristina.romatsova.98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5169-8347>

<sup>2</sup> meleshkina\_le@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0812-3630>

**Abstract.** The article considers the results of the evaluation of consumer preferences in relation to enriched bakery products. The frequency of consumption of bakery products has been established, as well as the attitude of consumers to new enriched types of bakery products. The types of enriching additives satisfying consumers are revealed, selection criteria are established. An expert assessment of the organoleptic characteristics and physico-chemical parameters of amaranth bread with chicory was carried out. The recipe of a bakery product with amaranth flour and chicory is proposed, it is established that the product is functional in terms of squalene and inulin content.

© Романцова, К. Р., Мелёшкина, Л. Е., 2022

**Keywords:** *aspic bread, amaranth flour, chicory, squalene, inulin, physico-chemical parameters, organoleptic evaluation.*

**Acknowledgments:** *The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (mnemocode 0611-2020-013; topic number FZMM-2020-0013, GDZ No. 075-00316-20-01).*

---

**For citation:** Romantsova, K. R., & Meleshkina, L. E. (2022). Research and development of bakery products with amaranth flour and chicory. *Poizunovskiy vestnik*, 3, 37-42. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.005.

---

Заболевания, связанные с фактором питания, остаются на достаточно высоком уровне. Задача разработки продуктов, доступных для всех слоев населения, содержащих широкий спектр биологически активных нутриентов, по-прежнему является актуальной задачей. Приоритет использования сырья отечественного производства является первоочередным, в этой связи разнообразное растительное сырье Алтайского края представляет огромный интерес.

Учитывая изложенное, в качестве объекта исследования были выбраны хлебобулочные изделия с целью дальнейшей разработки рецептуры и улучшения химического состава.

В ходе исследований установлено, что хлеб пшеничный заливной с амарантовой мукой и цикорием является источником таких элементов, как сквален (антиоксидантное действие и увеличение сопротивляемости организма различным инфекциям) и инулин (поддерживает нормальное состояние микрофлоры кишечника).

#### **Цель исследования**

Разработка рецептуры хлеба заливного из муки пшеничной, изготовленного по безопарной технологии, с добавлением амарантовой муки и цикория растворимого.

#### **Задачи исследования:**

- провести маркетинговые исследования для определения предпочтений и отношения респондентов к новым хлебобулочным изделиям;
- спроектировать хлебобулочные изделия функционального назначения;
- подобрать базовую рецептуру для производства продукции на основании физико – химических и органолептических показателей;
- за счет изменения соотношения амарантовой муки и цикория, на основании физико – химических показателей разработать рецептуру с обогащающими компонентами;
- исследовать влияние различных соотношений муки амарантовой и цикория на органолептические показатели готовой продукции;

- спрогнозировать ожидаемый физиологический эффект от потребления разработанных хлебобулочных изделий функционального назначения.

#### **Материалы и методы исследования**

Экспериментальные исследования выполнены на базе Центра комплексных исследований и экспертной оценки пищевой продукции «АлтайБиоЛакт» (ЦКИ «АлтайБиоЛакт») ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова».

Объектом исследования явился хлеб заливной с амарантовой мукой и цикорием, разработанный в ходе исследования.

Органолептический анализ хлеба заливного с амарантовой мукой и цикорием осуществлялся по ГОСТ 5667-65, ГОСТ ISO 13299-2015 [1].

Определение влажности проводили по ГОСТ 21094-75, определение кислотности по ГОСТ 5670-96, определение пористости по ГОСТ 5669-96.

#### **Результаты и их обсуждение**

Мука из семян амаранта превосходит муку пшеничную своей пищевой ценностью и уникальным биохимическим составом. Она содержит большое количество минеральных веществ, антиоксидантов и незаменимых аминокислот. Мука из семени амаранта имеет следующий химический состав: белок 16–18 % (состоит из незаменимых аминокислот более чем на 30 %), жир – 15 %, высокое количество минеральных веществ (таких как железо, калий, кальций, фосфор, магний, медь) и витаминов. Особенность амарантовой муки – содержание биологически активного вещества сквалена [2,9].

По результатам медицинских исследований, сквален признан важным компонентом, который выполняет роль регулятора липидного и стероидного обмена в организме человека [7].

Реализация концепции здорового питания предусматривает разработку

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С АМАРАНТОВОЙ МУКОЙ И ЦИКОРИЕМ

диетических профилактических и диетических лечебных продуктов. В ходе установления химического состава корня цикория определены горькие, смолистые и дубильные вещества, различные органические кислоты, холин, эфирные масла, витамины группы А, С, В1, В2, РР, марганец, железо и натрий [10].

Инулин, который накапливается в цикории, составляет около 60 % от всех пищевых волокон, способствует снижению уровня сахара в крови, содержания липидов крови, снижению вероятностей сердечно-сосудистых заболеваний, оказывает антиоксидантное действие на организм человека в целом. В таблице 1 приведен химический состав цикория [3].

Таблица 1 – Химический состав цикория  
Table 1 - Chemical composition of chicory

Нутриенты	Содержание пищевого элемента в 100 г продукта	Суточная норма в продукте, %
1	2	3
Инулин, г	30,0	1200,0
Белки, г	4,0	5,3
Жиры, г	0,2	0,2
Углеводы, г	65,0	17,8
Витамины		
Витамин В <sub>1</sub> , мг	0,062	5,2
Витамин В <sub>2</sub> , мг	0,027	2,3
Витамин В <sub>5</sub> , мг	0,145	2,9
Витамин В <sub>6</sub> , мг	0,042	2,1
Витамин В <sub>9</sub> , мкг	0,037	0,01
Витамин С, мг	2,8	3,1
Витамин А, мг	0,001	0,0001
Макроэлементы		
Кальций, мг	19,0	1,9
Калий, мг	211,0	0,01
Натрий, мг	2,0	0,15
Магний, мг	10,0	2,5
Фосфор, мг	47,0	6,5
Микроэлементы		
Железо, мг	0,24	1,3
Марганец, мг	0,1	5,0
Селен, мкг	0,0002	0,0004
Цинк, мг	0,37	2,6

На первом этапе был проведен опрос с целью выявления частоты потребления хлебобулочных изделий респондентами. Полученные данные представлены на рисунке 1.

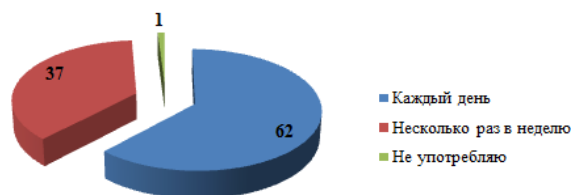


Рисунок 1 - Частота потребления хлебобулочных изделий

Figure 1 - Frequency of consumption of bakery products

Установлено, что подавляющее большинство опрошенных (62 %) потребляют хлебобулочные изделия ежедневно. Заинтересованность в амарантовой муке в качестве обогащающего компонента взамен части пшеничной муки представлена на рисунке 2.

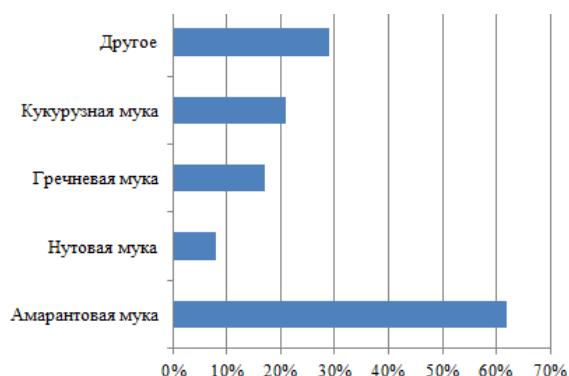


Рисунок 2 – Предпочтения по видам муки в качестве обогатителя

Figure 2 - Preferences by type of flour as a fortifier

Большинство респондентов предпочитают амарантовую муку в качестве обогатителя хлебобулочных изделий (62 %). Кукурузную муку предпочитает 21 % опрошенных, гречневую муку 17 %.

Отношение к хлебным новинкам среди потенциальных потребителей представлено на рисунке 3.

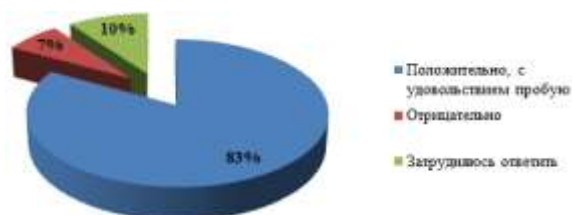


Рисунок 3 - Отношение к новинкам хлебобулочных изделий

Figure 3 - Attitude to the novelties of bakery products



Таким образом, решение о выработке хлебобулочного изделия с амарантовой мукой является обоснованным.

На следующих этапах установлены диапазоны внесения амарантовой муки и цикория в рецептуру хлеба с позиции формирования функциональных свойств, проведены серии лабораторных выпечек. Тесто для хлеба замешивали определенным способом до жидкой консистенции, позволяющей «наливать» или «заливать» тесто в формы. Цикорий вносили в количестве от 2 % до 6 % к массе муки (соответственно образцы № 1-№ 5).

В целях полноты исследования проведена экспертная оценка органолептических показателей качества выработанного хлеба заливного с добавлением амарантовой муки и цикория. Итоговые результаты данного исследования приведены в таблице 1.

Таблица 2 – Сводные данные по органолептической оценке  
Table 2 - Organoleptic evaluation

Номер образца	Средняя оценка по всем параметрам, балл
№ 1	4,2
№ 2	4,4
№ 3	4,7
№ 4	4,0
№ 5	3,6

Профилограммы оценки органолептических характеристик выработанных изделий представлены на рисунке 4.

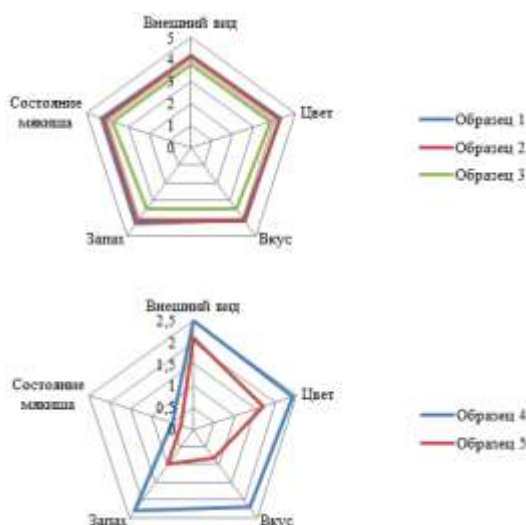


Рисунок 4 – Профилограммы органолептических показателей

Figure 4 - Profilograms of organoleptic indicators

Образец № 4 с содержанием амарантовой муки 30 % и цикория 4 % имеет наивысший балл по органолептической оценке.

Далее приведены результаты физико-химических испытаний пяти опытных образцов. На рисунке 5 представлена влажность образцов, полученных в ходе проведения испытания.

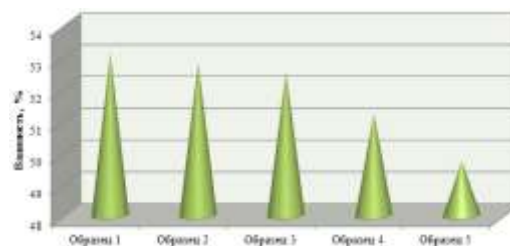


Рисунок 5 - Влажность образцов

Figure 5 - Humidity of samples

На рисунке 6 наглядно представлены полученные данные о кислотности образцов.

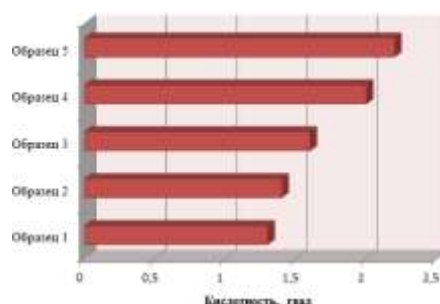


Рисунок 6 – Кислотность образцов

Figure 6 - Acidity of samples

Рисунок 7 отражает полученные данные пористости пяти образцов.

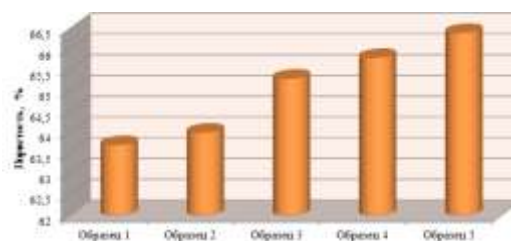


Рисунок 7 – Пористость образцов

Figure 7 - Porosity of samples

Как видно из представленных зависимостей, образец под номером 3, содержащий 4 % цикория и амарантовой муки 30 % к общей массе муки, имеет наилучшие показатели качества среди всех испытуемых образцов. Образцы под номерами 4 и 5 с высоким содержанием

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С АМАРАНТОВОЙ МУКОЙ И ЦИКОРИЕМ

цикория и амарантовой муки имеют низкую пористость и органолептическую оценку, следовательно с точки зрения нормативных требований и маркетинга, такая продукция не будет иметь спроса у потребителей и данные образцы исключаются из дальнейших исследований.

Итоговая рецептура хлебобулочного изделия представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Рецептура изделия  
Table 3 - Product formulation

Наименование сырья и продуктов	Расход сырья и продуктов на 100 г изделия, г
Мука пшеничная хлебопекарная высший сорт	33,0
Мука амарантовая 1 сорт	30,0
Цикорий растворимый	4,0
Соль пищевая	1,0
Сахар белый	0,7
Дрожжи хлебопекарные прессованные	1,7
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	7,5
Вода питьевая	по расчету
<b>Итого (без воды):</b>	<b>77,9</b>
<b>Выход:</b>	<b>100,0</b>

Для расчета пищевой ценности был использован справочник [5] и методические рекомендации [6].

Пищевая ценность и доля покрытия суточной потребности организма в рассчитываемых веществах представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Пищевая ценность вырабатываемого изделия  
Table 4 - Nutritional value of the produced product

Наименование	Рекомендуемый уровень суточного потребления	Фактическое значение	Обеспечение суточной потребности, %
Белки, г	75,0	8,5	10,4
Жиры, г	83,0	3,9	5,4
Углеводы, г	365,0	41,3	9,8
Пищевые волокна, г	20,0	2,6	13,0
Сквален, г	1,5	0,2	15,0
Инулин, г	3,0	1,2	40,0
Витамин В1, мг	1,4	0,3	21,4

Примечание: желтым цветом выделены значения суточной нормы, при которых пищевой продукт удовлетворяет более 15 % зелёным цветом выделены вещества, составляющие не менее 30 % от суточной нормы [4].

По содержанию сквалена, инулина и витамина В<sub>1</sub> можно говорить о том, что хлеб заливной с добавлением муки амарантовой и цикория можно считать функциональным пищевым продуктом [4].

При систематическом употреблении ожидаются следующие благоприятные эффекты:

- сквален - антиоксидантное действие, проявляемое в замедлении процессов старения кожных покровов и прочих тканей организма в целом; профилактика онкологических заболеваний; ускорение регенеративных процессов клеток;

- инулин - обеспечивает создание оптимальных условий для роста и развития нормальной микрофлоры кишечника; повышенную устойчивость пищеварительной системы к бактериальным и вирусным инфекциям;

- витамин В<sub>1</sub> – участвует в кроветворении; улучшает состояние нервно-мышечного аппарата, нервной системы в целом; укрепляет иммунитет и улучшает работу желудочно-кишечного тракта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ ISO 13299-2015 Органолептический анализ Общее руководство по составлению органолептического профиля : введен впервые : дата введения 205-01-01 / разработан БелГИСС. Москва : стандартинформ, 2015 . 28 с.
2. Шмалько Н.А. Мука амарантовая цельнозерновая// Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: мат-лы XX Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, 2019. С. 380–384.
3. Шевелева Т.Л., Фадеева А.Г. Использование корня цикория в качестве обогащающей добавки в рецептурах пшеничного хлеба // Мир инноваций. 2019. №4. С.60-64.
4. ГОСТ Р 55577 – 2013 Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности. Введ. 2015 – 01 – 01. М.: Стандартинформ. 2014. 16 с.
5. Тутельян В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания: справочник. М.: ДеЛи плюс, 2012. 284 с.
6. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: - М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 57с. Режим доступа: URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru/> (дата обращения: 25.04.2022).
7. Кретов И.Т., Соболев С.Н., Мирошни-

ченко Л.А., Жаркова И.М. Масло из семян амаранта // Масложировая промышленность. 2006. №1. С. 22-23.

8. Гинс М.С., Кропова Ю.Г. Амарант – перспективное сырье для натуральных структурообразователей // Материалы Международной научно-практической конференции «Научные основы и практическая реализация технологий получения и применения натуральных структурообразователей». Краснодар, 2002. С. 43–46.

9. Александров М.А. Особенности химического состава амаранта // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. 2010. № 10. – С. 23.

10. Вьютнова О.М. Хозяйственное значение и целебные свойства культуры цикория // Овощи России. 2017. № 5. С. 66

### **Информация об авторах**

*К. Р. Романцова – инженер, стажер-исследователь ЦКИ «АлтайБиоЛакт», магистрант ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».*

*Л. Е. Мелёшкина – кандидат технических наук, доцент, в.н.с. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».*

### **REFERENCES**

1. Organoleptic analysis General guidelines for the composition of the organoleptic profile : introduced first: date of introduction (2015). HOST ISO 13299-2015. Moscow : standartinform. (In Russ.).

2. Shmalko, N.A. (2019). Whole-ground amaranth flour. Modern problems of technology and technology of food production: materials of the XX International Scientific and Practical Conference. Barnaul. (In Russ.).

3. Sheveleva, T.L. & Fadeeva, A.G. (2019). *Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*

use of chicory root as an enriching additive in wheat bread recipes. *The world of innovation*. (4). 60-64. (In Russ.).

4. Specialized and functional food products. Information about distinctive features and effectiveness. Introduction (2015). HOST R 55577 – 2013. Moscow: Standartinform. (In Russ.).

5. Tutelyan, V. A. (2012). Chemical composition and caloric content of Russian food products: handbook. M.: Delhi Plus.

6. Norms of physiological needs in energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation (2021). Methodological recommendations MP 2.3.1.0253-21. Moscow: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being. (In Russ.).

7. Kretov, I.T., Sobolev, S.N., Miroshnichenko, L.A. & Zharkova, I.M. (2006). Amaranth seed oil. *Fat and oil industry*. (1). 22-23. (In Russ.).

8. Gins, M.S. & Kropova Yu.G. (2002). Amaranth – promising raw materials for natural structure-forming agents. *Materials of the International scientific and practical conference "Scientific foundations and practical implementation of technologies for obtaining and applying natural structure-forming agents"*. Krasnodar, 43-46. (In Russ.).

9. Alexandrov, M.A. (2010). Features of the chemical composition of amaranth. *Storage and processing of agricultural raw materials*. (10). 23. (In Russ.).

10. Vyutnova, O. M. (2017). The economic value and healing properties of chicory culture. *Vegetables of Russia*. (5). 66. (In Russ.).

### **Information about the authors**

*K. R. Romantsova – engineer, trainee researcher of the Central Research Institute "AltaiBioLact", magist-rant of the Polzunov Altai State Technical University.*

*L. E. Meleshkina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, leading researcher Polzunov Altai State Technical University.*



Научная статья

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

УДК 664.641:664.73

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.006



## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕЗИНТЕГРАТОРА В МУКОМОЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Светлана Сергеевна Кузьмина <sup>1</sup>, Людмила Алексеевна Козубаева <sup>2</sup>,  
Елена Юрьевна Егорова <sup>3</sup>

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

<sup>1</sup> svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

<sup>2</sup> cosubaeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

<sup>3</sup> egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

**Аннотация.** *Повышение эффективности производства пшеничной муки, особенно высшего сорта, – одна из наиболее важных и актуальных задач, стоящих перед мукомольным производством и предполагающих увеличение выхода готового продукта и возможность управления его качеством. Авторами статьи исследованы условия внедрения дезинтегратора в технологический процесс производства пшеничной муки. Объекты исследований – продукты с 1, 3 и 5 размольных систем – пропускали через лабораторный дезинтегратор один и два раза, с последующим просеиванием. По результатам исследований крупности продуктов измельчения установлено, что применение дезинтегратора в разных размольных системах дает возможность направленно менять фракционный состав муки в соответствии с её назначением. Анализ степени разрушения крахмальных гранул в продуктах помола подтвердил, что интенсивное кратковременное воздействие помольных органов дезинтегратора не приводит к существенному разрушению гранул крахмала. Доказано, что при выработке пшеничной муки высшего сорта наиболее целесообразно устанавливать дезинтегратор на 1-ю размольную систему: по белизне, крупности и зольности продуктов измельчения на дезинтеграторе подтверждено их соответствие требованиям к муке пшеничной хлебопекарной высшего сорта. Применение дезинтегратора на 1 размольной системе способствует также повышению выхода муки высшего сорта на 1,4–2,8 %, по сравнению с выходом муки этого сорта, полученным в условиях производства на вальцовом станке. Таким образом, применение дезинтегратора в мукомольном производстве позволяет не только своевременно корректировать технологический процесс, повышая эффективность производства в целом, но и получать пшеничную муку высшего сорта с более высоким выходом.*

**Ключевые слова:** *технология, мука, продукты помола, дезинтегратор, гранулометрический состав, зольность, белизна, степень разрушения крахмальных гранул, выход муки.*

**Благодарности:** *Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России на создание и развитие инжинирингового центра в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты».*

---

**Для цитирования:** Кузьмина С. С., Козубаева Л. А., Егорова Е. Ю. Эффективность применения дезинтегратора в мукомольном производстве // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 43 - 49. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.006. EDN: <https://elibrary.ru/hixdss>.

---

Original article

## EFFICIENCY OF USE OF THE DISINTEGRATOR IN FLOUR PRODUCTION

Svetlana S. Kuzmina<sup>1</sup>, Ludmila A. Kozubaeva<sup>2</sup>, Elena Yu. Egorova<sup>3</sup>

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup>svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

<sup>2</sup>cosubaeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

<sup>3</sup>egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

**Abstract.** Improving the efficiency of wheat flour production, especially of the highest grade, is one of the most important and urgent tasks facing the milling industry and involving an increase in the yield of the finished product and the possibility of managing its quality. The authors of the article investigated the conditions for the introduction of a disintegrator into the technological process of wheat flour production. The objects of research – products from the 1, 3 and 5 grinding systems – were passed through a laboratory disintegrator once and twice, followed by sieving. According to the results of studies of the fineness of grinding products, it was found that the use of a disintegrator in different grinding systems makes it possible to change the fractional composition of flour in accordance with its purpose. Analysis of the degree of destruction of starch granules in grinding products confirmed that intensive short-term exposure of the grinding organs of the disintegrator does not lead to significant destruction of starch granules. It is proved that when producing wheat flour of the highest grade, it is most expedient to install a disintegrator on the 1st grinding system: according to the whiteness, size and ash content of the grinding products on the disintegrator, their compliance with the requirements for wheat flour of the highest grade is confirmed. The use of a disintegrator on 1 grinding system also contributes to an increase in the yield of high-grade flour by 1.4-2.8 %, compared with the yield of flour of this grade obtained under production conditions on a roller machine. Thus, the use of a disintegrator in flour milling allows not only to adjust the technological process in a timely manner, increasing the efficiency of production as a whole, but also to obtain wheat flour of the highest grade with a higher yield.

**Keywords:** technology, flour, grinding products, disintegrator, granulometric composition, ash content, whiteness, degree of destruction of starch granules, flour yield.

**Acknowledgements:** The research was carried out with the support of a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the creation and development of an engineering center within the framework of the federal project "Development of infrastructure for Research and Training" of the national project "Science and Universities".

**For citation:** Kuzmina, S. S., Kozubaeva, L. A. & Egorova, E. Yu. (2022). Efficiency of use of the disintegrator in flour production. *Polzunovskiy vestnik*, (3). 43-49. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.006.

### ВВЕДЕНИЕ

Помольный процесс является одним из важных звеньев мукомольного производства, определяющих качество готового продукта. Исследования в области процессов помола, их влияния на технологические свойства муки сохраняют свою актуальность до сих пор, так как правильный подбор оборудования в значительной мере определяет эффективность и рентабельность мукомольного производства.

Структура и организация процесса измельчения зерна при сортовом помоле позволяют считать его одним из наиболее сложных. В этом процессе выделяют 3 взаимосвязанных этапа: образование крупок с вымолом оболочек; обогащение промежуточных про-

дуктов – крупок и дунстов; тонкое измельчение промежуточных продуктов с вымолом невыделенных ранее оболочек [1].

При проектировании мукомольного оборудования необходимо учитывать тонкость помола, структурно-механические и физико-химические характеристики измельчаемого материала, такие, как твердость, пластичность, прочность, сопротивление материала и подверженность его компонентов окислению, и т.д. [2-5]. С учетом различающихся свойств растительных материалов, для их измельчения в последние годы сконструированы и применяются мельницы, работа которых основана на разных принципах воздействия на измельчаемый материал: вибрационные, струйные, ударно-отражательные и другие.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022

Одним из перспективных видов специализированного оборудования является дезинтегратор, принцип измельчения в котором основан на вращении двух роторов-«корзин», насаженных на соосно-расположенные валы, в две противоположные стороны. Собственно, сам процесс измельчения осуществляется расположенными в несколько рядов помольными органами-«пальцами», размещенными по концентрическим окружностям на дисках роторов. При работе дезинтегратора ряды его помольных органов-пальцев свободно входят навстречу друг другу, формируя встречные потоки обрабатываемого материала, что обеспечивает не только его диспергирование, но и механоактивацию [6, 7].

Поскольку конечной и основной целью технологического процесса получения муки является отделение эндосперма от оболочек и его измельчение при наименьшем разрушении самих оболочек, для реализации поставленной цели исследовали возможность внедрения дезинтегратора в мукомольный процесс вместо используемого на промышленных мукомольных предприятиях вальцового станка.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью обоснования эффективности применения дезинтегратора в мукомольном производстве исследовали продукты помола, предоставленные мукомольным предприятием Алтайского края. Отбор образцов осуществляли на 1, 3 и 5 размольных системах на входе в вальцовый станок (далее образец 0) и на выходе из него (далее образец 1).

Мука, полученная по классической технологии с применением вальцового станка, в данной работе использована в качестве контроля.

Измельчение образцов, отобранных на размольных системах, осуществляли на лабораторном дезинтеграторе, развивающем относительную скорость движения пальцев на внешнем радиусе до 129 м/с. Дезинтегратор разработан на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» АлтГТУ.

Для полноты исследования образцы пропускали через дезинтегратор один (образец 2) и два (образец 3) раза. Продукты помола после вальцового станка и дезинтегратора просеивали на сите из шелковой ткани № 43.

Контроль технологических свойств продуктов помола (муки), характеризующих эффективность применения дезинтегратора, осуществляли с применением стандартных и отраслевых методов исследования:

- зольность – по ГОСТ 27494-2016,

- белизну – по ГОСТ 26361-2013 на приборе «Белизомер муки БЛИК-РЗ»,  
- сорт муки – по ГОСТ 26574-2017.

Гранулометрический состав полученных продуктов контролировали с использованием программно-аппаратурного комплекса «Анализ зернопродуктов Гран», созданного на кафедре «Технология хранения и переработки зерна» АлтГТУ. Для проведения этого исследования продукты помола не подвергали просеиванию.

Количество и объем поврежденного крахмала в муке контролировали при помощи анализатора Y41 (Турция). Работа прибора основана на амперометрическом анализе поврежденного крахмала в образцах муки.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важных показателей помола является гранулометрический состав, характеризующий распределение в продукте крупинок муки по крупности. Размер частиц муки, как и их относительная однородность по размеру, имеют важное значение для всех этапов технологического процесса, определяя параметры рабочих органов и режимы работы технологического оборудования.

Дисперсность продуктов помола тесно взаимосвязана с физическими характеристиками мучных смесей и реологическими свойствами полуфабрикатов хлебопекарного производства [8]. Прежде всего, от размеров частиц и их однородности зависит скорость протекания в тесте биохимических и коллоидных процессов и, как следствие этого, качество и выход хлеба [9].

Известно, что лучшими хлебопекарными свойствами обладает мука, дисперсный состав которой характеризуется фракцией 80–120 мкм в количестве не менее 60 % [10].

Влияние способа измельчения на фракционный состав образцов муки представлен на рисунке 1. Анализ фракционного состава муки, выделенной на 1 размольной системе (1 р.с.), показал, что использование как вальцового станка, так и дезинтегратора, приводит к получению продукта, в котором преобладают частицы с размером 40–125 мкм. Следует отметить, что при дезинтегрировании на долю этой фракции муки приходилось 62–63 %, что удовлетворяло требования к дисперсному составу хлебопекарной муки.

В муке, полученной с 3 размольной системы (3 р.с.), наблюдалось равновесие между долей мелкой и крупной фракций при измельчении на вальцовом станке. Применение дезинтегратора на этой системе способство-

вало в большей степени формированию мелкой фракции.

На 5 размольной системе (5 р.с.) не происходило существенных изменений размера частиц до и после измельчения продукта, как на вальцовом станке, так и на дезинтеграторе. Следовательно, для получения муки, удовлетворяющей требованиям хлебопекарного

производства, рекомендуется устанавливать дезинтегратор на 1 размольной системе и пропускать мучной продукт через дезинтегратор не более 1 раза. Увеличение количества проходов через дезинтегратор приводит к возрастанию энергозатрат и объема работы, при этом показатели качества полученного продукта существенно не изменялись.

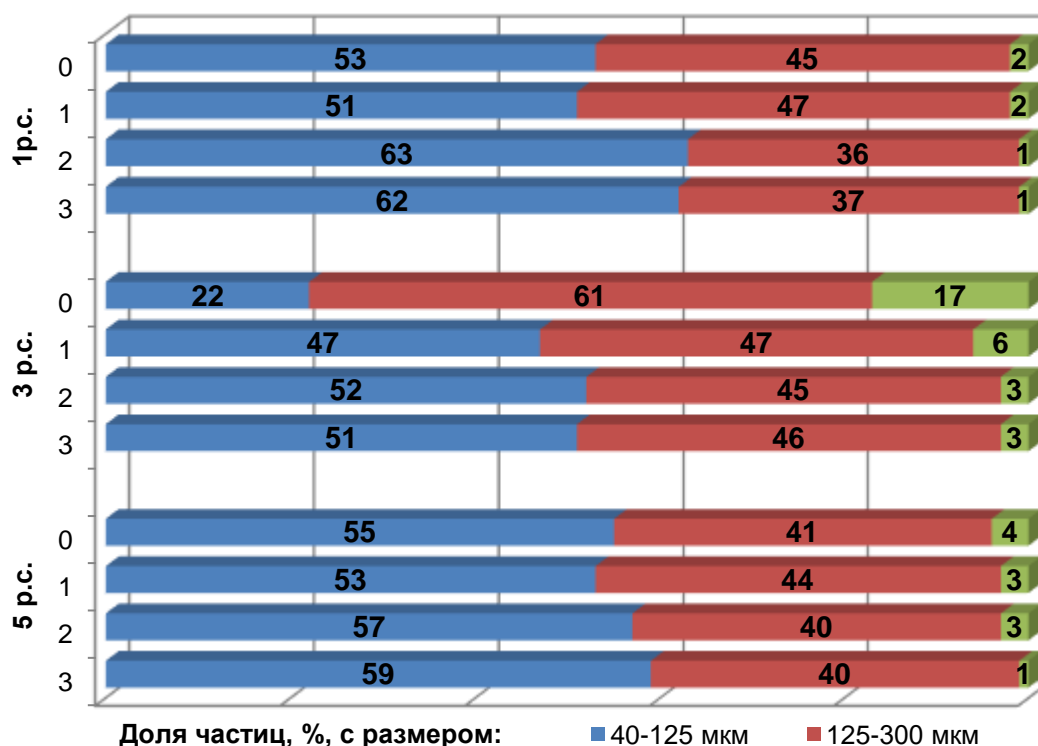


Рисунок 1 – Фракционный состав образцов муки

Figure 1 – Fractional composition of flour samples

К показателям, комплексно определяющим сортность муки, относят зольность и белизну (таблица 1).

Согласно полученным результатам, зольность дезинтегрированной муки превышала зольность муки, полученной в условиях производства на вальцовом станке. Эти результаты ещё раз подтверждают, что интенсивное высокоскоростное воздействие помольных органов дезинтегратора способ-

ствует разрушению не только эндосперма зерна, но и отрубянистых частиц. С повышением значения зольности продукта наблюдалось закономерное понижение белизны.

Сортность полученной муки была установлена сопоставлением результатов исследований с требованиями ГОСТ 26574-2017. Использование дезинтегратора на 1 размольной системе позволяет получить муку высшего сорта (образцы 2 и 3).

Таблица 1 – Влияние дезинтегрирования на зольность и белизну муки

Table 1 – The effect of disintegration on the ash content and whiteness of flour

Образцы продукта с размольных систем		Зольность в пересчете на сухое вещество, %	Белизна, усл. ед РЗ-БПЛ	Соответствие сорту муки
1		2	3	4
1 размольная система	1	0,38	67,2	экстра/высший
	2	0,44	59,4	<b>ВЫСШИЙ</b>
	3	0,44	54,8	<b>ВЫСШИЙ</b>
3 размольная система	1	0,62	47,5	первый
	2	1,19	31,7	второй
	3	1,30	27,2	второй

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕЗИНТЕГРАТОРА В МУКОМОЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Продолжение таблицы 1 / Table 1 continued

1		2	3	4
5 размольная система	1	1,23	27,3	второй
	2	1,98	10,2	обойная
	3	2,75	7,5	–

При традиционном применении вальцового станка в технологической схеме 1 размольной системы реализуется производство муки экстра и высшего сорта. В нашем эксперименте достигается подобный эффект.

Из результатов, полученных на 3 и 5 размольных системах, следует, что применение дезинтегратора способствует получению муки более низкого сорта по сравнению с вальцовым станком.

Количеству разрушенного крахмала в муке уделяется особое внимание, по степени его разрушения определяют оптимальный режим работы размольного отделения.

Поврежденный крахмал очень важен для хлебопекарного производства. С одной стороны, наличие разрушенного крахмала в муке способствует увеличению водопоглотительной способности и влияет на реологические свойства теста, а также увеличивает запасы питательных веществ, необходимых для дрожжей, повышает восприимчивость муки к альфа-амилазе. С другой стороны, поврежденные гранулы крахмала более подвержены ферментативному расщеплению с образованием декстринов и избытка сахаров, что существенно влияет на протекание биохимических процессов приготовления теста и последующей выпечки хлеба.

Нормой содержания поврежденного крахмала в пшеничной муке с зольностью 0,55 % во всем мире является 5 – 9 %. Для муки с более высокой зольностью (более 0,65 %) допускается незначительное увеличение этого показателя [11].

Данные о влиянии дезинтегрирования на степень повреждения крахмальных зерен приведены в таблице 2. Исходя из полученных данных, содержание поврежденного крахмала

у продукта, прошедшего через вальцовый станок на 1-й размольной системе, на 0,84–1,04 % выше, чем содержание поврежденного крахмала у дезинтегрированного продукта. То есть, дезинтегратор оказал менее выраженное влияние на разрушение крахмальных гранул, чем вальцовый станок. Количество проходов продукта через дезинтегратор на степень разрушения крахмальных гранул не повлияло.

Способ измельчения продукта на 3 размольной системе не отразился на степени разрушения крахмальных гранул. Их содержание варьировало в диапазоне 7,94–7,51 %.

Динамика влияния способа измельчения продукта на 5 размольной системе аналогична данным, полученным с 3 размольной системы. Кроме того, содержание поврежденных крахмальных гранул у продуктов с этих двух систем существенно не различалось. Таким образом, все исследуемые образцы по содержанию поврежденного крахмала соответствовали рекомендуемому значению [11].

Главной задачей, стоящей перед мукомольным предприятием, является достижение максимально возможного выхода готовой продукции на фоне минимизации затрат, связанных с недостатками работы размольного отделения [1].

Общепринятое определение «выхода муки» – это её количество, полученное из зерна в результате помола и выраженное в процентах к массе переработанного зерна. Согласно данным, представленным на рисунке 2, применение дезинтегратора на 1 размольной системе способствовало повышению выхода муки высшего сорта на 1,4 % (образец 1) и на 2,8 % (образец 2) по сравнению с мукой этого сорта, полученной в условиях производства на вальцовом станке.

Таблица 2 – Влияние дезинтегрирования на степень повреждения крахмальных гранул  
Table 2 – The effect of disintegration on the degree of damage to starch granules

Образцы продукта с разных систем		Степень разрушения крахмальных гранул, %	
1		2	
1 размольная система (р.с.)	0	3,68	
	1	6,65	
	2	5,61	
	3	5,81	
3 размольная система (р.с.)	0	5,71	
	1	7,94	
	2	7,35	
	3	7,51	



Продолжение таблицы 2 / Table 2 continued

	1	2
5 размольная система (р.с.)	0	6,99
	1	7,21
	2	7,46
	3	7,43

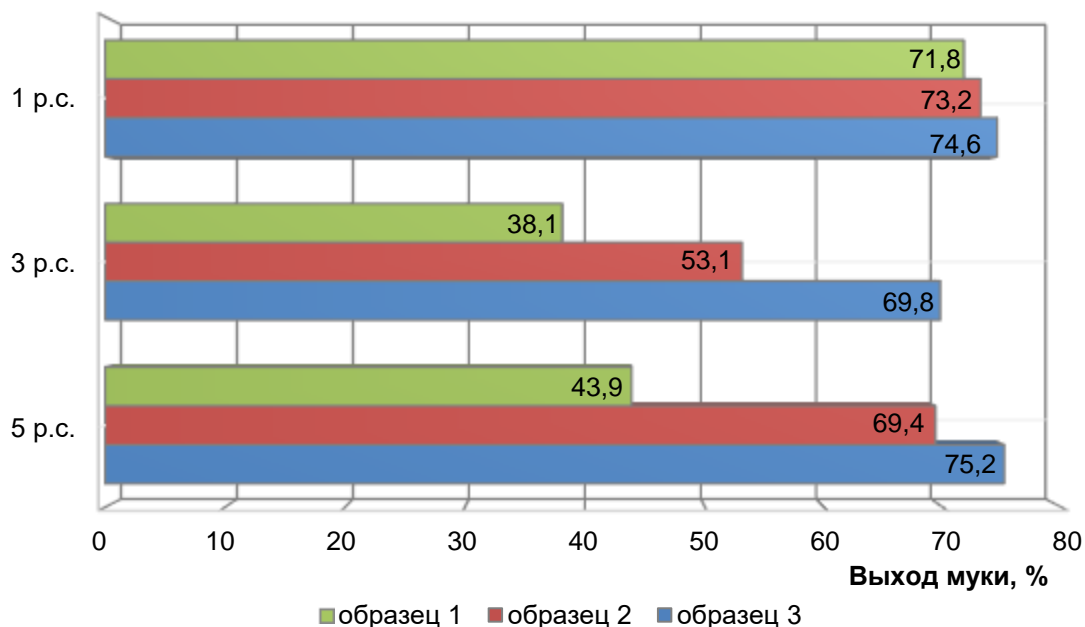


Рисунок 2 – Влияние применения дезинтегратора на выход муки  
Figure 2 – The effect of using a disintegrator on the yield of flour

Дезинтегрирование муки на 3 и на 5 размольных системах привело к значительному увеличению выхода мучного продукта, что, вероятно, связано с доизмельчением отрубей, содержащихся в исходном помольном продукте. Полученные данные о выходе целевого продукта, в целом, согласуются остальными результатами эксперимента.

### ВЫВОДЫ

На основании результатов проведенных исследований установлено, что применение дезинтегратора позволяет направленно изменять фракционный состав муки, в соответствии с её назначением.

При выработке пшеничной муки высшего сорта рекомендуется устанавливать дезинтегратор на 1 размольную систему, это способствует повышению выхода муки высшего сорта на 1,4 % (образец 1) и на 2,8 % (образец 2) по сравнению с выходом муки высшего сорта в условиях производства на вальцовом станке.

Таким образом, применение дезинтегратора в мукомольном производстве позволяет не только своевременно корректировать технологический процесс, повышая эффектив-

ность производства в целом, но и получать пшеничную муку высшего сорта с более высоким выходом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протопопов Д.Н., Шкарпетко В.А., Козубаева Л.А., Кузьмина С.С. Новые схемы производства муки // Ползуновский вестник. 2020. №4. С. 14-19. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.003.
2. Богданов В.С., Лунев А.С., Гавриленко А.В., Степанов М.А. Дезинтегратор как смеситель-механоактиватор // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвузовский сборник статей под ред. В.С. Богданова. Белгород, 2015. С. 53-56.
3. Харченко Е.И., Еремеева Е.А. Обоснование подогрева зерна и воды в процессе подготовки зерна к помолу // Агропанорама. 2020. №6 (142). С. 23-27.
4. Бузоверов С.Ю., Лобанов В.И., Протасов С.Н. Интенсификация процесса увлажнения зерна перед помолом в шнековом увлажнителе // Хранение и переработка зерна. 2014. №10. С. 34-37.
5. Равшанов С., Мирзаев Ж., Мусаев Х. Влияние гидротермической обработки в повышение прочности оболочки зерна пшеницы при подготовке к сортовому помолу // Химия и химическая тех-

нология. 2020. №2 (68). С. 71-75. DOI: 10.51348/UWBU2815.

6. Титов В.А. Остроглядова Е.В. Мерзликina Н.В. Исследование процессов измельчения материалов в дезинтеграторе // Вестник КрасГАУ. 2009. №12. С. 161-164.

7. Taskarina A., Abdрахmanov E., Tusupbekova M., Tyulyubayev R. Operational analysis and the design development of the grinding equipment-disintegrator // Труды университета. 2021. № 4 (85). С. 87-92. DOI: 10.52209/1609\_1825\_2021\_4\_87.

8. Кузьмина С.С., Козубаева Л.А. Реологическое поведение теста из смеси пшеничной и ореховой муки // Ползуновский вестник. 2022. №1. С.7-14. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.001.

9. Кузьмина С.С., Козубаева Л.А., Протопопов Д.Н. Влияние механоактивации на технологические свойства муки // Ползуновский вестник. 2017. №2. С. 41-44.

10. Панкратов Г.Н. Гранулометрический состав продуктов размола // Хлебопродукты. 2015. №5. С. 46-498.

11. Петриченко В.В., Путилина С.А., Strubbe В. Вся правда о свежести // Хлебопродукты. 2021. №1. С. 22-25.

#### Информация об авторах

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

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

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

#### REFERENCES

1. Protopopov, D.N. et al. (2020). New schemes for the production of flour. *Polzunovskiy Vestnik*. (4). 14-19. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.003. (In Russ.).

2. Bogdanov, V.S. et al. (2015). Disintegrator as a mixer-mechanoactivator. *Energy-saving technological complexes and equipment for the production of*

*building materials: interuniversity collection of articles..* Belgorod. (In Russ.).

3. Kharchenko, E.I., & Eremeeva, E.A. (2020). Rationale for heating grain and water in the process of preparing grain for grinding // *Agropanorama*. №6 (142). P. 23-27.

4. Buzoverov, S.Yu., Lobanov, V.I. & Protasov, S.N. (2014). Intensification of the process of grain moistening before grinding in a screw humidifier. *Storage and processing of grain*. (10). 34-37. (In Russ.).

5. Ravshanov, S., Mirzaev, Zh. & Musaev, H. (2020). Influence of hydrothermal treatment in increasing the strength of the wheat grain shell during preparation for varietal grinding. *Chemistry and Chemical Technology*. 2 (68). 71-75. DOI: 10.51348/UWBU2815 (in Uzbekistan).

6. Titov, V.A. Ostroglyadova, E.V. & Merzlikina, N.V. (2009). Study of the processes of grinding materials in a disintegrator. *Vestnik KrasGAU*. (12). 161-164. (In Russ.).

7. Taskarina, A. et al. (2021) Operational analysis and the design development of the grinding equipment-disintegrator. *Trudy` universiteta*. 4 (85). 87-92. DOI: 10.52209/1609\_1825\_2021\_4\_87. (In Russ.).

8. Kuzmina, S.S. & Kozubaeva, L.A. (2022). Rheological behavior of dough from a mixture of wheat and nut flour. *Polzunovskiy Vestnik*. (1). 7-14. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.001. (In Russ.).

9. Kuzmina, S.S., Kozubaeva, L.A. & Protopopov, D.N. (2017). Influence of mechanoactivation on the technological properties of flour. *Polzunovskiy Vestnik*. (2). 41-44.

10. Pankratov, G.N. (2015). Granulometric composition of grinding products. *Khleboprodukty*. (5). 46-498. (In Russ.).

11. Petrichenko, V.V., Putilina, S.A. & Strubbe, B. (2021). The whole truth about freshness. *Khleboprodukty*. (1). 22-25. (In Russ.).

#### Information about the authors

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

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*



Научная статья

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

УДК 621.867:664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.007

 EDN: EWXSU

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

Владимир Петрович Тарасов <sup>1</sup>, Андрей Владимирович Тарасов <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

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

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

**Аннотация.** Выполнен анализ основных причин и последствий нарушения устойчивости работы нагнетающих систем пневмотранспорта с питателями непрерывного действия (имеющими привод) с учетом их работы в переходные и неустановившиеся периоды. Приведены доказательства существенного изменения параметров процесса пневмотранспортирования и повышенной вероятности нарушения устойчивости в переходных и неустановившихся режимах. Выдвинуты гипотезы, объясняющие существо происходящих явлений при пуске пневмотранспортной установки. Скорректированы с учетом работы в переходных режимах математические модели для описания производительности шлюзовых и шнековых приемно-питающих устройств. Проанализированы причины повышенной подачи материала в трубопровод, экстремального давления и появления «горба» на диаграмме давления в начале трубопровода в период пуска питателя и заполнения трубопровода транспортируемым материалом. Приведены литературные сведения и экспериментальные доказательства, подтверждающие выдвинутые идеи и гипотезы.

**Ключевые слова:** пневматический транспорт, шлюзовые, шнековые питатели, переходные и неустановившиеся периоды работы, устойчивость, давление, расход, скорость воздуха, производительность, трубопровод.

**Для цитирования:** Тарасов В. П., Тарасов А. В. Анализ особенностей нагнетающих систем пневмотранспорта с приводными питателями при их работе в переходных и неустановившихся режимах // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 50 – 57. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.007. EDN: <https://elibrary.ru/ewxsdu>.

Original article

## ANALYSIS OF THE FEATURES OF PNEUMATIC TRANSPORT INJECTION SYSTEMS WITH DRIVE FEEDERS DURING THEIR OPERATION IN TRANSIENT AND UNSTEADY MODES

Vladimir P. Tarasov <sup>1</sup>, Andrey V. Tarasov <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

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

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

**Abstract.** The operation instability main causes and consequences analysis of charging pneumatic transport systems with continuous feeders (having a drive), taking into account their work in transient and unsteady periods, was carried out. The evidences of significant changes in the pneumat-

©Тарасов, В. П., Тарасов, А. В., 2022

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С  
ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И  
НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

*ic transporting process parameters and an increased probability of instability in transient and unsteady state modes are given. The hypotheses explaining the essence of the phenomena occurring during the start-up of the pneumatic transporting were put forward. Mathematical models for describing the performance of sluice and auger receiving and feeding devices (sluice and screw feeders) were adjusted taking into account operation in transient modes. The reasons of increased material flow into the pipeline, extreme pressure and the appearance of a hump in the pressure diagram at the beginning of the pipeline during the start-up of the feeder and filling the pipeline with the transported material were analyzed. Literature (references) and experimental evidence confirming the ideas and hypotheses put forward were given.*

**Keywords:** *pneumatic transport, sluice feeder, grinder feed screw (screw feeder), transient and unsteady state operation periods, stability, pressure, consumption (rate, flow), air velocity (speed), delivery (consumption), pipeline.*

---

**For citation:** Tarasov, V.P., Tarasov, A.V. (2022) Analysis of the features of pneumatic transport injection systems with drive feeders during their operation in transient and unsteady modes // *Polzunovskiy vestnik* № 3. 50-57. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.007.

---

В химической, пищевой, строительной и других отраслях для транспортирования самого широкого круга сыпучих материалов с успехом применяется пневматический транспорт. При этом используются всасывающие, нагнетающие и комбинированные пневмотранспортные установки. Нагнетающие системы пневмотранспорта отличаются рядом преимуществ и являются более перспективными. Для подачи материала в область с повышенным давлением чаще всего применяются питатели непрерывного принципа действия, с приводом и роторным основным рабочим органом - винтовые (шнековые) и барабанные (шлюзовые).

Одной из наиболее острых проблем, с которой сталкиваются при применении пневмотранспортных установок, является разрешение противоречия между обеспечением низких затрат энергии на осуществление процесса и устойчивостью работы системы. Проблема заключается в том, что наиболее рациональные в энергетическом отношении режимы движения двухкомпонентных потоков имеют место при минимальных скоростях воздуха. Однако, при этом возникает высокая вероятность нарушения устойчивости процесса. Ранее в [1 – 4] теоретически обосновано и в [1, 5 – 7] экспериментально подтверждено, что нарушение устойчивости процесса пневмотранспортирования тесно связано с переходными\* и неустойчивыми\*\* режимами движения двухкомпонентных потоков. Чаще всего именно в эти периоды работы системы имеют место максимальные зна-

чения возмущающих факторов. Это приводит к тому, что давление в трубопроводе возрастает (его градиент положительный), а объемный расход, а значит и скорость воздуха в нем становятся минимальными. Полученные в ходе экспериментальных исследований с применением средств непрерывного контроля результаты наглядно свидетельствуют об этом. Диаграммы изменения основных параметров процесса (давления,  $P$  и объемного расхода,  $Q$  воздуха в начале трубопровода) одного из опытов приведены на рисунке 1. Скорость воздуха в начале трубопровода при пуске (с 10 по 12 секунду) в этом опыте падала ниже 2 м/с. В то время как в установившемся режиме она не уменьшалась ниже 7 м/с, следовательно, именно в это время может возникнуть максимальная вероятность закупорки трубопровода и нарушение процесса. При этом его возобновление будет невозможно без проведения достаточно трудоемких и продолжительных по времени операций.

Выше указанные и другие ранее выполненные научно-исследовательские работы позволили определить основные причины снижения скорости в переходные и неустойчивые периоды работы. В [1–7] установлено, что в это время из-за увеличения сил сопротивления движению компонентов аэросмеси (положительном градиенте давления в оборудовании) скорость воздуха в трубопроводе уменьшается по четырем основным причинам: 1). Вследствие накопления дополнительного количества воздуха во внутрен-

\*- под переходными и опасными в смысле нарушения устойчивости режимами работы пневмотранспортных установок, понимаются периоды пуска питателя и загрузки трубопровода;

\*\* - под неустойчивыми и опасными в смысле нарушения устойчивости режимами работы пневмотранспортных установок понимаются периоды возмущений ее параметров (в основном увеличение подачи материала питателем), приводящие к увеличению сопротивлений движению компонентов аэросмеси.

них полостях воздухоподводящего оборудования. 2). По причине увеличения утечек из воздухоподводящего оборудования. 3). Из-за снижения производительности воздуходувной машины в соответствии с ее характеристикой (для подавляющего числа применяемых разновидностей). 4). По причине увеличения плотности воздуха в материалопроводе. Потеря устойчивости работы систем пневмотранспорта особенно нежелательна для производств с непрерывным режимом работы, поскольку приводит к значительным экономическим издержкам. Поэтому проектировщики

закладывают повышенные (иногда в несколько раз) скорости воздуха, что ведет не только к увеличению энергозатрат, но и к еще целому ряду других негативных последствий: увеличению габаритов и стоимости применяемого оборудования, росту пылевоздушных выбросов в окружающую среду, измельчению транспортируемого материала, повышенному износу трубопровода. Все это, в конечном счете, несмотря на целый ряд преимуществ, зачастую приводит к отказу от применения пневматического способа транспортирования.

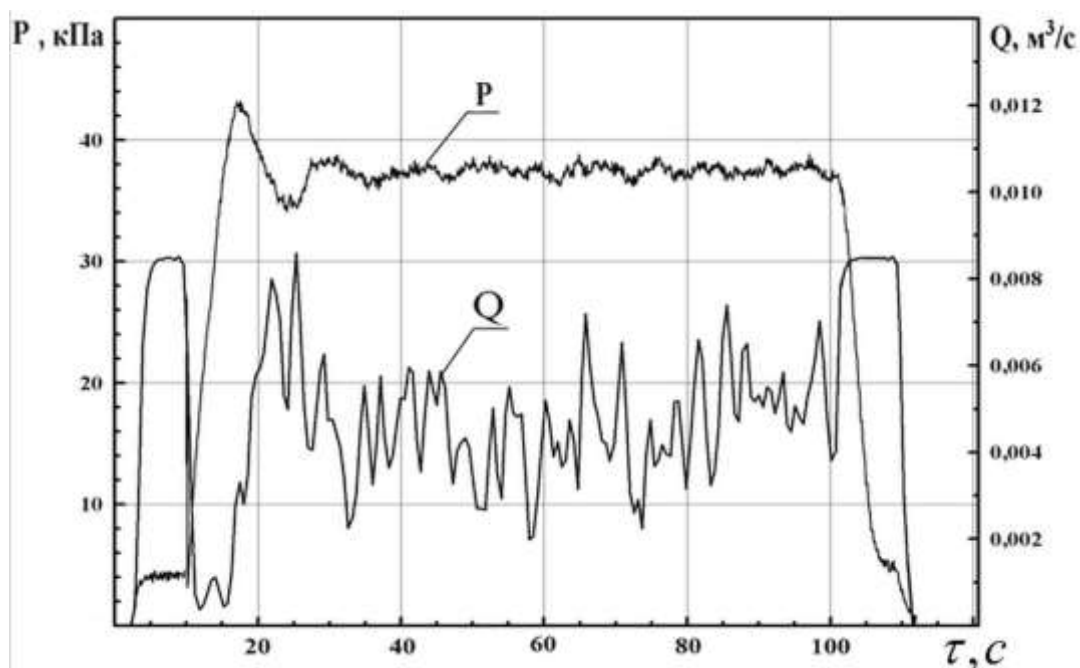


Рисунок 1 – Диаграммы изменения расхода и давления воздуха в начале трубопровода диаметром 0,038 м. при транспортировании муки, питатель шнековый

Figure 1 – Diagrams of changes in air flow and pressure at the beginning of the pipeline with a diameter of 0.038 m. when transporting flour, the screw feeder

Проведенные ранее исследования и испытания промышленных систем пневматического транспорта показали, что кроме снижения скорости воздуха в это время может иметь место еще один нежелательный эффект. Во многих случаях при положительном градиенте давления в оборудовании, особенно при пуске пневмотранспортных установок, наблюдается существенное повышение максимальной величины сопротивления ее элементов, а значит и потеря давления. На диаграммах давления это отражается в виде появления характерного «горба». Так, в приведенной на рисунке 1 – диаграмме, в период с 14 по 22 секунду наблюдается заметное (по сравнению с установившимся периодом работы) увеличение давления в начале трубо-

провода. Его значение почти на 20 % превышает номинальную в установившемся режиме величину. Вследствие этого увеличивается не только градиент давления, но и время, когда он положительный. Кроме того, появление «горба» на характеристике системы приводит к дополнительному ряду нежелательных последствий. Величина давления может превысить возможности воздуходувной машины и (или) ее энергетический потенциал. Следствием роста градиента давления и увеличения продолжительности этого периода является еще более существенное уменьшение объемного расхода, а значит и скорости воздуха в материалопроводе. В конечном счете, это приводит к повышению вероятности закупорки трубопровода и пре-

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

кращению процесса (потери устойчивости работы системы). Поэтому представляется крайне важным понимать причины наличия такого «горба» и знать факторы, влияющие на его величину.

Анализируя существо происходящих при пуске явлений, есть все основания предположить, что одной из основных возможных причин появления «горба» давления является повышенная в этот период подача материала в трубопровод (более высокая производительность приемно-питающего устройства). Именно оно обеспечивает подачу материала в трубопровод. Выполненные экспериментальные исследования со шнековыми и шлюзовыми приемно-питающими устройствами показали, что на их характеристиках производительности также имеются аналогичные «горбы». На рисунке 2 приведена диаграмма изменения во времени производительности (массового расхода) шнекового питателя  $G_{шн}(\tau)$ , начиная с момента его включения. В период с 4 по 10 секунду наблюдается существенное, по сравнению с установившимся режимом, повышение производительности, а на диаграмме отчетливо прослеживается «горб». По сравнению с установившимся периодом превышение производительности в режиме пуска может составлять более 50%. Подтверждения этому также получены при испытаниях промышленных систем пневмотранспорта. Следовательно, анализ факторов, влияющих на производительность различных приемно-питающих устройств, поможет понять причины и оценить масштабы этого явления для различных систем пневмотранспорта. На наличие связи между «горбами» давления в материалопроводе и производительности приемно-питающего устройства дополнительно указывает факт их симметричного по величине и времени взаиморасположения. Экспериментальные исследования подтверждают это. Результаты одного из опытов, приведены на рисунке 3. Имеющийся на 13 – 20 секундах «горб» на диаграмме производительности питателя отражается аналогичным повыше-

нием величины давления в начале трубопровода на диаграмме давления. Чтобы объяснить причины появления «горба» на характеристиках параметров систем пневмотранспорта необходимо проанализировать влияние на производительность приемно-питающих устройств различных факторов. При этом, поскольку известные зависимости для расчета производительности приемно-питающих устройств получены для установившихся режимов работы и не учитывают некоторые особенности изменяющихся параметров, их (эти зависимости) следует скорректировать. Это особенно важно для автоматизированного, с применением программного обеспечения, анализа переходных и неуставившихся режимов работы систем пневматического транспорта.

Основные факторы, влияющие на производительность таких приемно-питающих устройств, можно разделить на 4 группы: конструктивные, кинематические, гидравлические и факторы, связанные с физико-механическими свойствами транспортируемого материала. К основным конструктивным параметрам, оказывающим существенное влияние на производительность шнековых и шлюзовых питателей, относятся характеристики, определяющие объем рабочих полостей питателей. Для шнековых питателей это диаметр винта  $D_w$  и шаг винтовой линии,  $t_i$ , прежде всего, её последнего, напорного витка; для шлюзовых питателей - размеры ротора (его диаметр  $D_p$  и длина  $L_p$ ). Основным кинематическим параметром шнековых и шлюзовых питателей, непосредственно влияющим на производительность, является частота вращения ротора  $\nu$ , а гидравлическим – избыточное давление в смесительной камере питателя  $P_p$ . Объективнее оценку влияния давления следует вести по его перепаду на входе и выходе питателя; однако, поскольку на входе у них, как правило, давление близкое к атмосферному, то выше сделанное утверждение является вполне приемлемым.

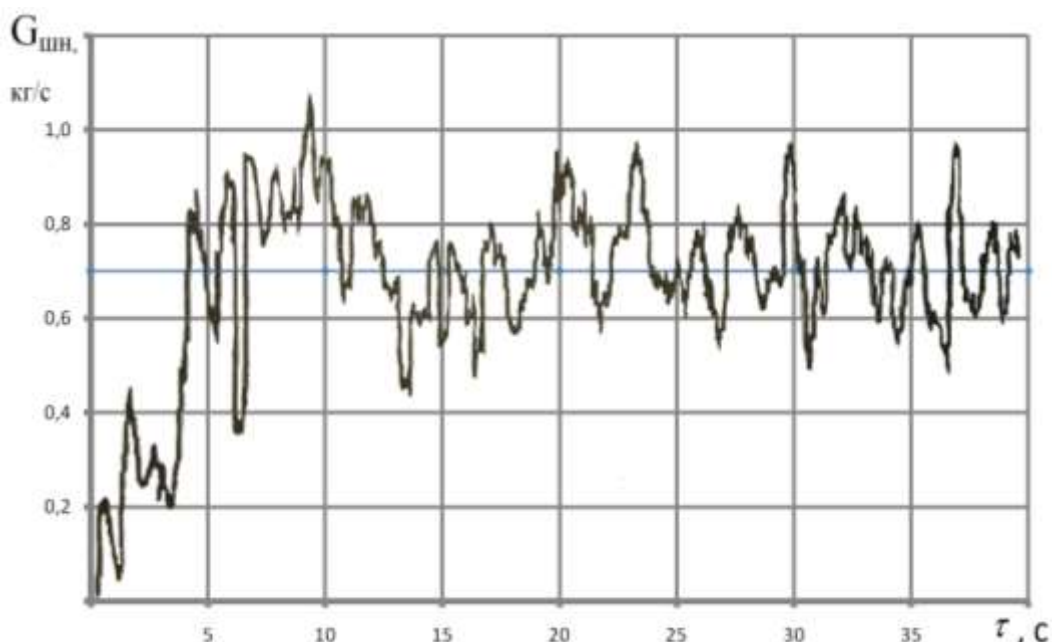


Рисунок 2 – Диаграмма изменения производительности шнекового питателя  
 Figure 2 – Diagram of the change in the performance of the screw feeder

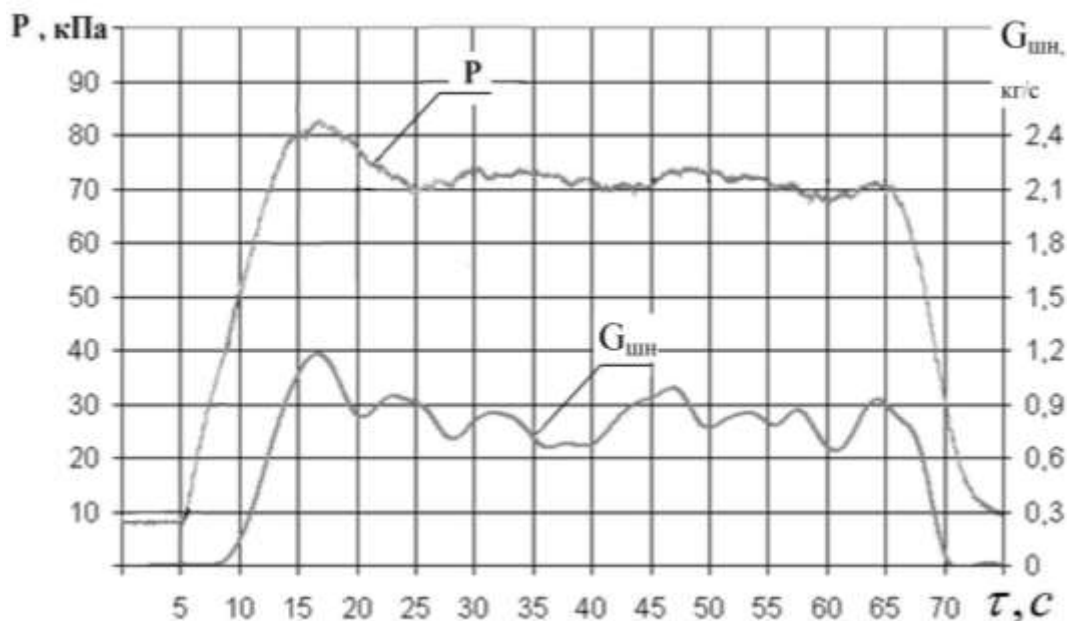


Рисунок 3 – Диаграммы изменения давления(1) в начале трубопровода диаметром 0,038 м. и производительности (2) в пневмотранспортной установке при транспортировании муки на расстояние 56 метров, питатель шнековый

Figure 3 – Diagrams of pressure changes (1) at the beginning of the pipeline with a diameter of 0.038 m. and performance (2) in a pneumatic conveying unit when transporting flour to a distance of 56 meters, screw feeder

Следует заметить, что с ростом давления в смесительной камере, производительность роторных питателей уменьшается вследствие ухудшения условий поступления материала в основной рабочий орган. Кроме этого, для шнековых питателей с увеличени-

ем давления возрастают силы, препятствующие движению материала вдоль винта. Физико-механические свойства транспортируемого материала обычно учитываются его плотностью  $\rho_m$  или насыпной плотностью  $\rho_{нас}$ . Кроме выше указанных на производитель-

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

ность шнековых и шлюзовых питателей оказывают влияние и другие факторы. Например, для шлюзовых питателей: размеры приемного и выпускного окон, количество ячеек в роторе и пр.; для шнековых питателей - размеры приемного устройства, наличие приспособлений, препятствующих вращательному движению материала в корпусе и пр. Их (эти конструктивные особенности) и другие физико-механические свойства транспортируемого материала (дисперсность, сыпучесть, адгезионность и пр.), а также величину давления в смесительной камере, частоту вращения ротора для конкретного питателя принимают постоянными и, чаще всего, например, как в [9], учитываются коэффициентом заполнения ротора  $k_3$ . Однако, совместный учет коэффициентом неизменных и значи-

- для шлюзовых

$$G_{\text{шл}}(\tau) = k_3(v) \cdot \pi \cdot D_p^2 \cdot L_p \cdot v(\tau) \cdot \rho_{\text{шл}} \cdot (1 - m \cdot (\Delta P_i(\tau))^n) / 4; \quad (1)$$

- для шнековых

$$G_{\text{шн}}(\tau) = k_3(v) \cdot t_i \cdot \pi \cdot D_\phi^2 \cdot v(\tau) \cdot \rho_{\text{шн}} \cdot (1 - m \cdot (\Delta P_i(\tau))^n) / 4, \quad (2)$$

где  $\tau$  – время,  $k_3(v)$  – коэффициент, учитывающий степень заполнения материалом рабочего пространства питателя, зависящий от свойств транспортируемого материала, параметров конструкции питателя и изменяющийся во времени вследствие изменения частоты вращения ротора  $v(\tau)$ ,  $\Delta P_n(\tau)$  – изменяющийся во времени перепад давления между входным  $P_a$  и выходным  $P_n$  сечениями питателя;  $m, c$  – коэффициенты, учитывающие влияние перепада давления в питателе на его производительность.

Производители шлюзовых и шнековых питателей, в технической характеристике приводят сведения о коэффициенте заполнения ротора  $k_n$  для транспортируемых материалов при рекомендуемых значениях параметров. При этом иногда даются рекомендации для пересчета его величины для фактических условий работы (в определенном диапазоне изменения частот вращения ротора и давления в смесительной камере  $k_\phi$ .) Однако, при пуске частота вращения ротора и давление в смесительной камере изменяются в более широких пределах. Следовательно, величина коэффициента заполнения ротора также может измениться значительно от 1 (при небольших оборотах) до фактической величины (при номинальных оборотах).

Учитывая это, существо происходящих при пуске шнековых и шлюзовых питателей явлений, результаты проведенных экспериментов и промышленных испытаний, предла-

тельно изменяющихся в переходных и неустановившихся периодах работы параметров, нельзя считать оправданным. Это может привести к существенным несоответствиям математических моделей реальной действительности и значительным отличиям спрогнозированных параметров работы системы от фактических значений.

Для устранения этих недостатков предлагается в математических моделях производительности питателей учитывать влияние частоты вращения ротора переменным коэффициентом его заполнения. Для учета влияния давления на производительность аналогично [9] использовать дополнительный коэффициент. Тогда выражения для определения производительности питателей будут иметь вид:

гается следующий вид выражения для определения коэффициента заполнения

$$k_3(v) = 1 - (1 - k_\phi) \cdot \left( \frac{v}{v_\phi} \right)^n, \quad (3)$$

где  $v$  и  $v_\phi$  – соответственно текущее (мгновенное) и фактическое (в соответствии с заводскими характеристиками) значения частоты вращения ротора,  $n$  – коэффициент, зависящий от свойств транспортируемого материала, особенностей конструкции питателя.

Совместный анализ выражений (2) и (3), экспериментальные исследования и опыт практического внедрения показали, что основной причиной повышенной подачи материала в смесительную камеру в пневмотранспортных установках со шнековым питателем в начальный период его работы может быть повышенный коэффициент заполнения шнека. Поскольку в качестве питающих устройств в пневмотранспортных установках обычно применяют быстроходные шнеки, то существенное влияние на коэффициент заполнения оказывает эффект отбрасывания материала витками. Центробежная сила, действующая на частицы транспортируемого материала в установившемся режиме работы, может быть не только сопоставима с силой тяжести, но и в несколько раз превышать ее. Кроме того, из-за высокой угловой скорости материала время его движения в зоне приемного патрубка к оси вращения небольшое. Поэтому центральные зоны витков



остаются существенно недозаполненными. В номинальном (установившемся) режиме работы коэффициент заполнения шнека может быть небольшим (это подтверждают литературные данные [9] и результаты выполненных экспериментов [1,5,7]). Кроме того, перед пуском межвитковая полость шнека, находящаяся под приемным патрубком, может быть заполнена с насыпной плотностью материала ( $k_{\phi} = 1$ ), а после включения привода, когда частота вращения шнека небольшая, а давление в смесительной камере низкое, коэффициент заполнения может также оставаться достаточно большим. Поэтому, по мере продвижения материала вдоль винта, в какой-то период производительность питателя может быть существенно выше ее величины в установившемся режиме работы. Следовательно, при движении вдоль трубопровода аэросмесь заполняет его с различной концентрацией материала по длине. Передние участки движущейся по трубопроводу аэросмеси могут иметь повышенную (по сравнению с установившимся периодом) концентрацию материала. При достижении передним фронтом аэросмеси конца трубопровода в нем будет находиться повышенное по сравнению с установившимся режимом количество материала. Это скажется на потерях давления в этот промежуток времени. Они будут также повышенными. Кроме того, выполненные экспериментальные исследования и опыт внедрения систем пневмотранспорта со шнековыми питателями показали, что на величину производительности существенное влияние может оказать лавинообразное движение продукта из предшествующего оборудования (чаще всего из бункеров). Это явление характерно для некоторых сыпучих, особенно порошковых (мука, цемент и т.п.) материалов. После открытия задвижки из-под бункера образуется движущийся с большой скоростью поток материала. Этот поток, попадая в шнек, может не только заполнить полностью межвитковое пространство, но и вызвать движение материала вдоль оси со скоростью, превышающей ее номинальную величину при нормальном режиме работы. Производительность питателя по этой причине в этот момент может превышать ее теоретическое значение в несколько раз. Это также сказывается на характеристике производительности питателя, появляется «горб», который соответственно отражается на динамической характеристике установки.

В пневмотранспортных системах со шлюзовым питателем в начальный момент

времени может также иметь место повышенная подача материала в смесительную камеру питателя по причине наличия в ячейках ротора избыточного его количества. В начальный, после включения питателя, период времени коэффициент заполнения ротора из-за его небольших оборотов и низкого давления в смесительной камере будет более высоким. Причем, ячейки, находящиеся перед пуском в неподвижном состоянии под приемным окном, могут быть заполнены полностью (их коэффициент заполнения может быть близким к 1). Следовательно, в начальный после включения питателя период, в смесительную камеру, а затем в трубопровод может поступить повышенное количество материала. В этом случае, по мере продвижения материала по трубопроводу, в нем, в какое-то время, будет находиться повышенное количество материала. Это, по сравнению с установившимся режимом работы, также приведет к дополнительным потерям давления в трубопроводе. Кроме того, часто в системах со шлюзовым питателем положение усугубляется по еще достаточно распространенной причине – выбранный питатель имеет повышенный, по сравнению с номинальной величиной, потенциал производительности (принят излишне большой запас). В установившемся режиме, в силу ограниченной подачи материала в питатель предшествующим оборудованием, это может не сказываться на работе установки. Однако, при пуске, в этом случае, подача материала питателем в смесительную камеру может оказаться еще в большей степени, превышающей ее номинальную величину. Это приведет к еще более значительному повышению сопротивления трубопровода со всеми вытекающими отсюда последствиями, главное из которых – потеря устойчивости работы системы.

Выше изложенные процессы, происходящие в системах пневмотранспорта и причины их появлений, являются наиболее вероятными, но не исчерпывающими. В реальных системах имеют место и другие факторы, приводящие к возникновению, так называемого «горба» на переходной характеристике питателя, наличие которого крайне нежелательно. Знание природы этого явления позволяет избежать его появления, уменьшить его величину или, по крайней мере, учесть его наличие.

Выполненный выше анализ позволил объяснить причины повышенной подачи материала в трубопровод пневмотранспортной установки в период ее пуска. Предложенные математические модели производительности

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА С ПРИВОДНЫМИ ПИТАТЕЛЯМИ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ПЕРЕХОДНЫХ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

шнековых и шлюзовых питателей соответствуют сущности происходящих явлений и позволяют уточнить ее характер и меняющуюся при пуске величину. Использование этих зависимостей совместно с разработанной ранее в [1 - 3] физической и математической моделями работы нагнетающей пневмотранспортной установки даст возможность повысить точность получаемых результатов расчета систем пневмотранспорта. Это, в свою очередь, позволит подобрать более эффективные режимы работы и соответствующее оборудование, обеспечив при этом устойчивость работы системы пневматического транспорта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов В. П. Совершенствование работы нагнетающих пневмотранспортных установок : дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 24 с.
2. Тарасов В. П. Элементы теории работы однотрубной пневмотранспортной установки // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2005. № 5/6. С. 81-85.
3. Tarasov V. P., Mukhopad K. A. A Theory on Operation of a Single-Tube Pneumatic Conveyor // Teoreticheskie Osnovy Khmicheskoi Tekhnologii. 2019. Vol. 53, № 3. P. 349-360.
4. Тарасов В. П. Анализ явлений в нагнетающей пневмотранспортной установке // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы XVIII международной научно-практической конференции. Барнаул, 2017. – С. 236.
5. Разработка пневмотранспортной установки муки производительностью 10 т/час : Отчет о НИР Алтайского политехнического института им. И.И. Ползунова (промежуточный): Барнаул, 1988. 54 с. № ГР 81860098832.-
6. Мухопад К. А., Тарасов В. П. Экспериментальное исследование нестационарных процессов при пневматическом транспортировании сыпучих материалов // Ползуновский вестник. 2017. №3. С. 50 – 57.
7. Тарасов В. П., Левин О. Л. Влияние способа загрузки материалопровода на параметры процесса пневмотранспортирования // Изв. ВУЗов. Пищевая технология. 2003. №4. С. 92-94.
8. Исследование и совершенствование систем транспорта сыпучих грузов по трубам : Отчет о НИР Курского политехнического института (промежуточный): Курск, 1984. 101 с. № ГР0285065732.
9. Малис А. Я. Пневматический транспорт сыпучих материалов при высоких концентрациях. Москва: Машиностроение, 1969,- 177 с.

### Информация об авторах

*В. П. Тарасов – к.т.н., профессор кафедры «Машины и аппараты пищевых производств»*

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656000, г. Барнаул, пр-т Ленина 46, e-mail: mapp.tar@mail.ru, тел. 9609621560.*

*А. В. Тарасов – к.т.н., доцент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656000, г. Барнаул, пр-т Ленина 46, e-mail: ptu110@mail.ru, тел. 9039574321.*

### REFERENCES

1. Tarasov V.P. (1986) Improving the operation of pumping pneumatic transport units. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).
2. Tarasov V.P. (2005) Elements of the theory of operation of a single-tube pneumatic transmission unit. News of universities. Food Technology, (5/6), 81-85. (In Russ.).
3. Tarasov V.P. & Mukhopad K.A. (2019) A Theory on Operation of a Single-Tube Pneumatic Conveyor. Teoreticheskie Osnovy Khmicheskoi Tekhnologii. (53), (3), 349-360.
4. Tarasov V.P. (2017) Analysis of phenomena in a pressurizing pneumatic transmission system. Modern problems of technology and technology of food production: materials of the XVIII International scientific and practical conference. Barnaul: ASTU. (In Russ.).
5. Development of a pneumatic flour transfer unit with a capacity of 10 tons/hour. (1988). Research report of the Altai Polytechnic Institute named after I.I. Polzunov (interim). Barnaul. (In Russ.). № ГР 81860098832.-
6. Mukhopad K.A. & Tarasov V.P. (2017) Experimental study of non-stationary processes in the pneumatic transportation of bulk materials. Polzunovskiy vestnik, (3), 50 – 57. (In Russ.).
7. Tarasov V.P. & Levin O.L. (2003) Influence of the method of loading the material pipeline on the parameters of the pneumatic conveying process. News of universities. Food Technology, (4), 92-94. (In Russ.).
8. Research and improvement of bulk cargo transportation systems through pipes. (1984). : Research report of the Kursk Polytechnic Institute (interim). Kursk. (In Russ.). № ГР0285065732.
9. Malis A. Y. (1969) Pneumatic transport of bulk materials at high concentrations. Moscow: Mechanical engineering. (In Russ.).

### Information about the authors

*V. P. Tarasov – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of «Food production machines and apparatuses» of the Polzunov Altai State Technical University.*

*A. V. Tarasov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Food production machines and apparatuses» of the Polzunov Altai State Technical University.*



Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)  
УДК 664.681.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.008



EDN: BHOFLL

## ПЕЧЕНЬЕ С АРАХИСОМ ДЛЯ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ПИТАНИЯ

Людмила Алексеевна Козубаева <sup>1</sup>, Светлана Сергеевна Кузьмина <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> cosubaeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

<sup>2</sup> svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

**Аннотация.** В последние годы число людей, в том числе детей и подростков, которым запрещено употреблять в пищу белки злаковых культур (глютен) постоянно растет. При этом имеет место социальная депривация – невозможность обеспечения детей «правильным» питанием в образовательных учреждениях из – за недостатка безглютеновых продуктов или неадекватной их стоимости. Цель исследования – разработка рецептов сдобного печенья с ядром арахиса на основе рисовой муки для расширения рынка отечественных безглютеновых мучных кондитерских изделий. Арахис вносили сырым или обжаренным при температуре 150 – 160 °С после измельчения до крупки, а также в пастообразном состоянии. Добавляли ядра в количестве от 5 % до 20 % к массе муки. Наличие арахиса в рецептуре способствовало получению печенья с приятным «ореховым» запахом и вкусом. Внесение арахиса привело к некоторому уплотнению структуры изделий, однако, потребительские характеристики и физико-химические показатели качества их остались на высоком уровне. По результатам работы установлено, что при производстве безглютенового рисового печенья арахис можно вносить как сырым, так и обжаренным в измельченном виде в количестве, не превышающем 15 % к массе муки, и в пастообразном виде - не более 10 % к массе муки. Таким образом, применение арахиса, как рецептурного компонента, позволяет не только разнообразить ассортиментную линейку безглютеновых изделий за счет совершенствования вкуса и запаха, но и обогатить их полезными нутриентами. Сдобное печенье с арахисом может быть рекомендовано для безглютенового питания.

**Ключевые слова:** целиакия, депривация, рисовая мука, арахис, безглютеновое сдобное печенье, показатели качества.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России на создание и развитие инжинирингового центра в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты».

**Для цитирования:** Козубаева Л. А., Кузьмина С. С. Печенье с арахисом для безглютенового питания // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 58 – 64. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.008. EDN: <https://elibrary.ru/bhofll>.

## PEANUT COOKIES FOR GLUTEN-FREE NUTRITION

Lyudmila A. Kozubaeva <sup>1</sup>, Svetlana S. Kuzmina <sup>2</sup><sup>1,2</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia<sup>1</sup> cosubaeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5131-4654><sup>2</sup> svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

**Abstract.** *In recent years, the number of people, including children and adolescents, who are prohibited from eating cereal proteins (gluten) has been constantly increasing. At the same time, social deprivation takes place - the inability to provide children with "proper" nutrition in educational institutions due to the lack of gluten-free products or their inadequate cost. The purpose of the study is to develop recipes for butter biscuits with a peanut kernel based on rice flour to expand the market for domestic gluten-free flour confectionery products. Peanuts were introduced raw or roasted at a temperature of 150 - 160 °C after grinding to grains, as well as in a pasty state. Kernels were added in an amount of 5 % to 20 % by weight of the flour. The presence of peanuts in the recipe contributed to obtaining cookies with a pleasant "nutty" smell and taste. The introduction of peanuts led to some compaction of the structure of the products, however, their consumer characteristics and physical and chemical quality indicators remained at a high level. According to the results of the work, it was found that in the production of gluten-free rice cookies, peanuts can be introduced both raw and fried in crushed form in an amount not exceeding 15 % by weight of flour, and in a pasty form - no more than 10 % by weight of flour. Thus, the use of peanuts as a recipe component allows not only diversifying the assortment line of gluten-free products by improving taste and smell, but also enriching them with useful nutrients. Butter biscuits with peanuts can be recommended for a gluten-free diet.*

**Keywords:** *celiac disease, deprivation, rice flour, peanuts, gluten-free butter biscuits, quality indicators.*

**Acknowledgements:** *The research was carried out with the support of a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the creation and development of an engineering center within the framework of the federal project "Development of infrastructure for Research and Training" of the national project "Science and Universities".*

**For citation:** Kozubaeva, L.A. & Kuzmina, S.S. (2022). Peanut cookies for gluten-free nutrition. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 58-64. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.008.

## ВВЕДЕНИЕ

Для России традиционным является употребление в пищу продуктов из зерна пшеницы, ржи, ячменя и других злаков, содержащих белок – глютен. Ассортиментный ряд изделий из этих зерновых культур, а также изделий, в состав которых входят в каком-либо количестве указанные злаки или продукты их переработки очень широк (разнообразные сорта муки, крупы, хлебоулочные, мучные кондитерские изделия и т.д.). Этот перечень дополняют фабрикаты (консервы, приправы, соусы и др.), в которых есть так называемый «скрытый глютен» [1].

Однако, есть целая группа людей, в том числе детей, в рационе которых категорически не должны присутствовать глютеносодержащие составляющие. В связи с этим, имеет место социальная депривация детей – невозможность организовать правильное питание в

дошкольных образовательных учреждениях, школах, летних лагерях, санаториях для больных целиакией (с аллергией на глютеносодержащие нутриенты) [2].

Причина депривации – недостаточное количество или полное отсутствие на рынке адекватных в ценовом отношении отечественных продуктов, не имеющих в составе глютеносодержащих компонентов, и наличие импортных, имеющих низкую доступность и высокую стоимость.

Заполнение рынка новыми наименованиями безглютеновой продукции, производимой, в том числе, на основе безглютеиновых видов муки – задача важная и актуальная.

Одним из аспектов разработки новых видов продуктов и тем самым расширения ассортимента уже существующих является использование растительного сырья [3-5]. К этой группе добавок относится арахис [6].

Часто арахис причисляют к категории орехов, хотя, на самом деле, это однолетняя бобовая трава.

Бобы сырого арахиса обладают вязкой структурой, имеют слабый бобовый запах и кремовый цвет.

Благодаря наличию в бобах высококачественного масла, доля которого составляет 40 – 60 %, полноценного пищевого белка (20 – 35 %) и углеводов (22 %) обеспечивается высокая пищевая ценность арахиса.

Польза белков арахиса, доля которых в сыром протеине приближается к 95 %, predeterminedена их хорошей усвояемостью. Весомая часть в белках принадлежит арахину (25 %) и конарахину (8 %).

Перечень углеводов в ядрах арахиса разнообразен: сахароза – от 1,5 до 7,0 %, крахмал – 0,9 – 6,7 %, пентозаны – 2,2–2,8 %, и т. д. [7].

Полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая, арахидоновая, линоленовая), весомо представленные в ядрах арахиса придают ему уникальные свойства и помогают в предотвращении развития склероза, поддержании нормального уровня холестерина [8].

Значительное количество антиоксидантов в арахисе помогает предупредить развитие сердечно - сосудистых заболеваний и возникновения рака [9-10].

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования выступали образцы безглютенового печенья, приготовленные на основе рисовой муки, характеризующейся отсутствием в составе глютена. В рецептуру печенья арахис вносили в количестве от 5 % до 20 % к массе муки.

В экспериментах использовали как нативный (сырой) арахис, так и обжаренный при температуре 150-160 °С в течение 7-10 минут. Сырой и обжаренный арахис дробили до получения крупки (проход через штампованное металлическое сито с диаметром отверстий 2,0 мм). Кроме того, в исследованиях применяли арахисовую пасту, которая представляла собой измельченный на лабораторной мельнице обжаренный арахис.

Сырой, обжаренный арахис и арахисовая паста представлены на рисунке 1.



сырой арахис

обжаренный арахис

арахисовая паста

Рисунок 1 – Внешний вид арахиса  
Figure 1 – Appearance of the peanuts

Контроль качества рисового печенья с арахисом осуществляли в соответствии со стандартными методами исследований:

- массовую долю влаги по ГОСТ 5900-2014;
- массовую долю общего сахара (по сахарозе) ускоренным методом по ГОСТ 31902-2012;
- массовую долю жира рефрактометрическим методом по ГОСТ 31902-2012;
- щелочность по ГОСТ 5898-87;
- намокаемость по ГОСТ 10114-80.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мучные кондитерские изделия являются в большей степени лакомством, чем повсе-

дневным продуктом питания, основные потребители которых – дети и подростки. В связи с этим при выборе особенно важны вкусовые характеристики, оформление, ароматическая составляющая.

Добавление арахиса в рецептуру продемонстрировало, в первую очередь, изменение органолептических показателей, в частности, появление вкраплений, как на поверхности, так и на изломе изделий, появление усиливающегося с возрастанием дозировки вкуса и запаха арахиса. При этом содержание 20 % сырого арахиса в тесте оказалось избыточным, так как привело к появлению выраженного бобового вкуса, что ухудшало потребительские характеристики печенья.

## ПЕЧЕНЬЕ С АРАХИСОМ ДЛЯ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ПИТАНИЯ

Допустимое в соответствии с требованиями ГОСТ 24901-2014 для печенья с добавлением орехов трещинообразование имело место и на поверхности опытных образцов изделий при внесении более 10 % арахиса.

Следует отметить хорошую сохранность формы печенья с сырым арахисом, наличие которого, по - видимому, приводило к повышению вязкости теста. При добавлении более 15 % арахиса печенье было более хрупким и легко разламывалось.

Следующим этапом в работе было исследование целесообразности обжаривания ядер перед внесением в тесто. Добавление обжаренного измельченного арахиса и пасты из него, безусловно, сказалось на усилении запаха и наполненности вкуса готовых изделий. Печенье отличалось приятным «ореховым» ароматом. Несомненно, после обжаривания изысканный аромат арахиса становится хорошо воспринимаемым обонянием человека.

Печенье при внесении до 15 % обжаренного арахиса имело фигурную форму с четкими гранями рисунка и достаточно развитую

пористую структуру. Увеличение количества арахиса в рецептуре привело к получению затянутого теста и, как следствие, к получению изделия с обжимистой формой и не развитой пористостью. В итоге изделия были сухими и легко крошились.

Исследование качества рисового печенья с добавлением арахисовой пасты показало, что внесение 10 % обогатительного компонента способствовало получению изделия с улучшенными органолептическими показателями. Печенье отличалось приятным «ореховым» ароматом и вкусом, имело фигурную форму с четким рисунком. Содержание арахисовой пасты в печенье в меньшем количестве не отражало ожидаемого «орехового» вкуса и запаха, а в большей дозировке изделие теряло свои потребительские свойства, а именно наблюдалось значительное уплотнение структуры изделия.

На рисунке 2 приведены изображения образцов печенья с сырым, обжаренным арахисом и арахисовой пастой.



Рисунок 2 – Внешний вид рисового печенья с арахисом  
Figure 2 – Appearance of rice cookies with peanuts

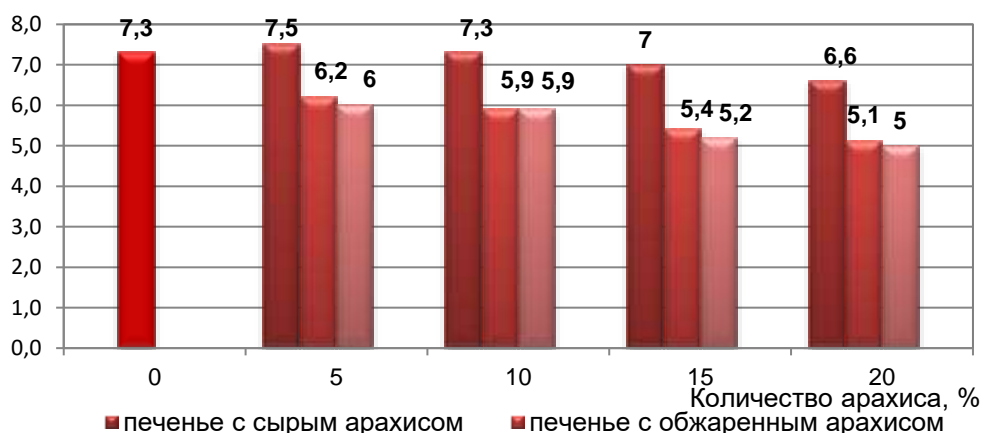


Рисунок 3 – Влияние арахиса на массовую долю влаги рисового печенья

Figure 3 – The effect of peanuts on the mass fraction of moisture of rice cookies

В ходе органолептического анализа были определены дозировки арахиса, позволяющие получить рисовое печенье с высокими потребительскими характеристиками. Однако, физико-химическому анализу подвергали все образцы печенья.

Влияние арахиса на массовую долю влаги в рисовом печенье представлено на рисунке 3.

Увеличение процентного содержания сырого арахиса в образцах способствовало снижению массовой доли влаги в рисовом печенье. Несомненно, это связано с влажностью сырого арахиса, величина которой составляла 5,4 %.

При внесении обжаренного арахиса наблюдалась аналогичная закономерность, а

именно повышение доли арахиса в печенье приводило к постепенному понижению значения этого показателя.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10114-80 «намокаемость» – это отношение массы намокшего за определенный промежуток времени печенья к массе сухого печенья, выраженное в процентах. Печенье высокого качества должно намокать быстро и интенсивно. Основными факторами, влияющими на величину намокаемости, выступают сырьевой состав изделия и технологические особенности его приготовления.

Влияние арахиса на намокаемость рисового печенья представлено на рисунке 4.

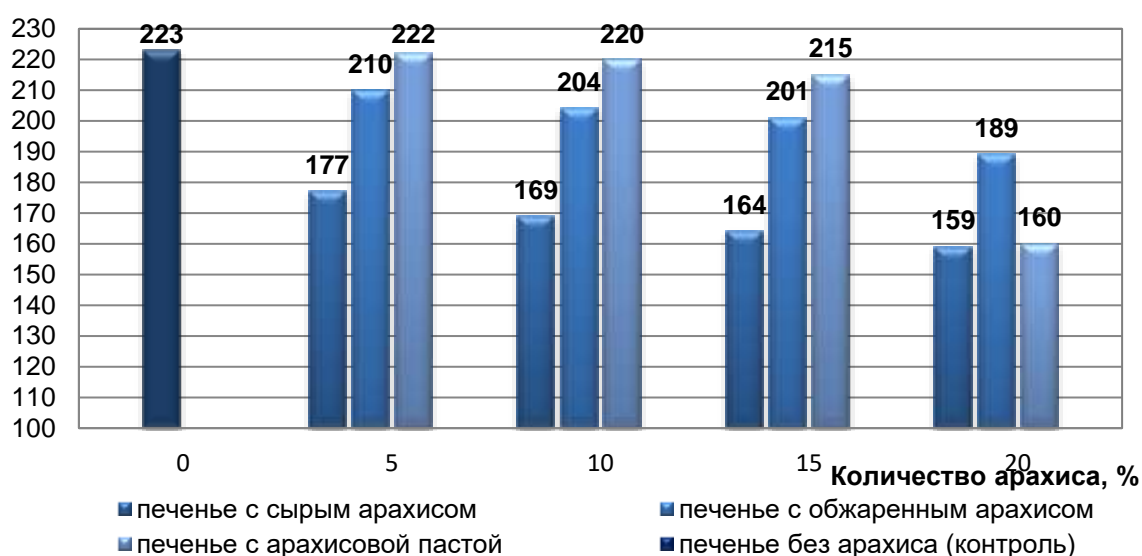


Рисунок 4 – Влияние арахиса на намокаемость рисового печенья

Figure 4 – The effect of peanuts on the wetness of rice cookies

Намокаемость печенья с арахисом во всех вариантах ухудшалась. В случае добавления сырого арахиса — это снижение было самым ощутимым – на 50 – 60 % по сравнению с контролем в зависимости от дозировки. По-видимому, внесенная добавка не только приводила к уплотнению структуры печенья, но и частицы арахиса хуже впитывали влагу.

В то же время, внесение пастообразного арахиса в количестве до 15 % к массе муки способствовало получению печенья с намокаемостью на уровне контроля, и только 20 % дозировка привела к резкому снижению этого показателя. Использование обжаренного измельченного арахиса также повлекло некоторое снижение значения намокаемости, однако, следует отметить, что для всех образцов печенья, независимо от формы внесения ядер

арахиса, показатель намокаемости соответствовал требованиям нормативной документации.

Одним из регламентируемых показателей качества печенья является щелочность, характеризующая остаточное количество химических разрыхлителей и продуктов из разложения в готовых изделиях. Исследования показали, что величина этого показателя во всех образцах не превышала 0,2 град.

Основные потребительские характеристики, такие как «сладость», «сдобность» «рассыпчатость» на прямую зависят от содержания сахара и жира в готовом печенье. В представленной работе исследовали массовую долю общего сахара (по сахарозе) и массовую долю жира в рисовом печенье с арахисом, результаты которых представлены в таблице 1.

## ПЕЧЕНЬЕ С АРАХИСОМ ДЛЯ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ПИТАНИЯ

Таблица 1 – Массовая доля общего сахара (по сахарозе) и массовая доля жира в рисовом печенье с арахисом

Table 1 – Mass fraction of total sugar (by sucrose) and mass fraction of fat in rice cookies with peanuts

Наименование печенья	Значение показателя / количество арахиса, %				
	0	5	10	15	20
<b>Массовая доля общего сахара (по сахарозе), %</b>					
Печенье с арахисом	30,6	31,5	32,2	33,0	33,8
<b>Массовая доля жира, %</b>					
Печенье с арахисом	19,4	20,0	20,6	21,2	21,7

С повышением процентного содержания арахиса наблюдается закономерное увеличение массовой доли общего сахара (по сахарозе) и массовой доли жира, связанное с высоким присутствием растительного жира и углеводов.

Полученные результаты физико-химического анализа показали соответствие рисового печенья с арахисом нормам, регламентируемым ГОСТ 24901-2014.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, решающим показателем при выборе способа подготовки арахиса и установлении рекомендуемой дозировки выступает органолептический анализ, по результатам которого установили, что при производстве безглютеного рисового печенья арахис можно вносить как сырым, так и обжаренным в измельченном виде в количестве, не превышающем 15 % к массе рисовой муки. Рекомендуемое содержание арахисовой пасты в рецептуре безглютенового печенья - не более 10 % к массе муки.

Обобщая полученные результаты, можно резюмировать, что применение арахиса, как рецептурного компонента, позволяет не только разнообразить ассортиментную линейку безглютеновых изделий за счет совершенствования вкуса и запаха, но и обогатить их полезными нутриентами. Сдобное печенье с арахисом может быть рекомендовано для безглютенового питания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарева Т.С. Целиакия у детей и подростков // Вопросы современной педиатрии. 2008. Том 7. №4. С.80-84.
2. Тиунов В.М., Чугунова О.В, Гращенко Д.В. Особенности разработки рационов питания для детей дошкольного возраста больных целиакией // Вестник ВГУИТ. 2018. Т.80. №2. С. 211-219. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-211-219>
3. Масалова В.В., Оботурова Н.П. Перспективы использования безглютенового растительного

сырья в производстве пищевых продуктов для диетического и профилактического питания // Пищевая промышленность. 2016. №3. С. 16-20.

4. Егорова Е.Ю., Козубаева Л.А. Безглютеновые кексы с амарантовой мукой // Ползуновский вестник. 2018. №1. С. 22-26. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.005.

5. Резниченко, И.Ю. Теоретические аспекты разработки и классификации кондитерских изделий специализированного назначения / И.Ю. Резниченко, Е.Ю. Егорова // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 3. – С. 133–138.

6. Козубаева Л.А., Кузьмина С.С. Перспективы применения арахиса в производстве капкейков // Ползуновский вестник. 2021. №2. С.20-26. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.003.

7. Характеристика семян арахиса и их применение в хлебопечении / В. А. Михайлов [и др.]. // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 5. – С. 55.

8. Значение орехов в профилактике различных заболеваний / Е.В. Ших [и др.]. // Вопросы питания. Том 89, №3, 2020 – С. 14-21. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10025.

9. Елисеева Л.Г. Эффективность использования природных антиоксидантов для увеличения срока хранения ореховых снеков / Л.Г. Елисеева, О.В. Юрина, Л.М. Луценко // Пищевая промышленность. 2015. №12. С. 30-34.

10. Иванова К.А., Цыганов В.Е. Антиоксидантная система защиты в симбиотических клубеньках бобовых растений // Сельскохозяйственная биология. 2017. Том 52. №5. С.878-894. doi: 10.15389/agrobology.2017.5.878rus

### Информация об авторах

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

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



## REFERENCES

1. Lazareva T.S. (2008) Celiac disease in children and adolescents. *Issues of modern pediatrics* (V 7(4)), 80-84. (In Russ.).
2. Tiunov V.M., Chugunova O.V. & Grashchenkov D.V. (2018) Features of the development of diets for preschool children in celiac patients. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. (80(2)), 211-219. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-211-219>
3. Masalova V.V. & Oboturova N.P. (2016) Prospects of use gluten-free vegetable raw materials in the production of foods for dietary preventive nutrition. *Food industry*. (3), 16-20. (In Russ.).
4. Egorova E.Yu. & Kozubaeva L.A. (2018) Gluten-free cupcakes with amaranth flour. *Polzunovsky vestnik*. (1), 22-26. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.005.
5. Reznichenko, I.Yu. & Egorova E.Yu. (2013) Theoretical aspects of the development and classification of confectionery products for specialized purposes. *Technique and technology of food production*. (3), 133-138. (In Russ.).
6. Kozubaeva L.A. & Kuzmina S.S. (2021) Prospects for the use of peanuts in the production of cupcakes. *Polzunovsky vestnik*. (2), 20-26. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.003.
7. Mikhailov V.A. [et al.] (2005) Characteristics of peanut seeds and their application in bread making. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. (5), 55. (In Russ.).
8. Shikh E.V.[et al.] (2020) The importance of nuts in the prevention of various diseases. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 89 (3), 14–21. (in Russ.). DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10025.
9. Eliseeva L.G., Yurina O.V. & Lutsenko L.M. (2015) The efficiency of use natural antioxidants to increase the shelf life of nut snacks. *Food industry*. (12), 30-34. (in Russ.).
10. Ivanova K.A & Tsyganov V.E. (2017) Antioxidant defense in symbiotic nodules of legumes. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 52(5), 878-894. (in Russ.). doi: 10.15389/agrobiol.2017.5.878rus.

### Information about the authors

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*



Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства  
УДК 634.8:664.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.009

 EDN: CKPLFB

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАТУРАЛЬНЫХ СОКОВ ИЗ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА С ТЕМНОЙ ОКРАСКОЙ ЯГОД

Галина Александровна Макарова <sup>1</sup>, Оксана Юрьевна Михайлова <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> angur1992galina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3476-9339>

<sup>2</sup> mihailova oxana007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4554-9449>

**Аннотация.** Физико-химические показатели натуральных соков из винограда, произрастающего в условиях лесостепи Алтайского Приобья не изучены, а органолептические свойства только по отдельным сортам, поэтому получение продукции обладающей высоким содержанием биологически активных веществ является актуальной задачей. Цель – исследование качества натурального сока сортового винограда. Из ягод интродуцированных сортов винограда получали натуральные соки прямого отжима. Все изученные сорта пригодны для производства высококачественных натуральных виноградных соков (общая дегустационная оценка 4,5-4,8 балла). Максимальное содержание растворимых сухих веществ определено в образцах сока из сортов Кишмиш уникальный и Хасанский Боуса (20,0-20,3%), сахаров – Кишмиш уникальный (19,5 г/100 г) и Хасанский Боуса (19,1 г/100 г), pH – Агат донской, Зилга, Мускат блау (3,0). Минимальное содержание кислот выявлено в соке из винограда Агат донской (0,6 %). Наиболее привлекательный внешний вид (4,7-4,9 балла), хорошие вкусовые качества (4,6-4,9 балла) и аромат (4,5-4,7 балла), высокие физико-химические показатели имели образцы сока из сортов Зилга, Кишмиш уникальный, Мускат блау, Хасанский Боуса, Экспресс. Из винограда изучаемых сортов можно производить виноградный сок хорошего качества по названию ампелографического сорта.

**Ключевые слова:** сок прямого отжима, виноград, сорт, ягоды, вкус, аромат, растворимые сухие вещества, титруемая кислотность, активная кислотность, содержание сахаров.

**Для цитирования:** 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. EDN: <https://elibrary.ru/ckplfb>.

Original article

## EVALUATION OF THE QUALITY OF NATURAL JUICES FROM INTRODUCED GRAPE VARIETIES WITH DARK BERRY COLOR

Galina A. Makarova <sup>1</sup>, Oxana Yu. Mikhailova <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnology, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> angur1992galina@mail.ru

<sup>2</sup> mihailova oxana007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4554-9449>

**Abstract.** The physico-chemical parameters of natural juices from grapes growing in the conditions of the forest-steppe of the Altai Ob region have not been studied, and the organoleptic properties are only for individual varieties, therefore, obtaining products with a high content of biologically active substances is an urgent task. The purpose is to study the quality of natural juice of varietal grapes.

© Макарова, Г. А., Михайлова, О. Ю., 2022

*Natural juices of direct pressing were obtained from the berries of introduced grape varieties. All the studied varieties are suitable for the production of high-quality natural grape juices (total tasting score 4.5-4.8 points). The maximum content of soluble solids was determined in juice samples from the varieties Kishmish unique and Khasansky Bousa (20.0-20.3%), sakharov – Kishmish unique (19.5 g / 100 g) and Khasansky Bousa (19.1 g/100 g), pH – Agate Donskoy, Zilga, Muscat blau (3.0). The minimum acid content was found in the juice of Agate Donskoy grapes (0.6 %). The most attractive appearance (4.7-4.9 points), good taste (4.6-4.9 points) and aroma (4.5-4.7 points), high physico-chemical parameters were samples of juice from the varieties Zilga, unique Kishmish, Muscat blau, Khasansky Bousa, Express. From the grapes of the studied varieties, it is possible to produce grape juice of good quality by the name of the ampelographic variety.*

**Keywords:** *direct-pressed juice, grapes, variety, berries, taste, aroma, soluble dry substances, titrated acidity, active acidity, sugar content.*

---

**For citation:** Makarova, G. A., Mikhailova O. Yu. (2022). Evaluation of the quality of natural juices from introduced grape varieties with dark berry color. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 65-70. (in Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.009.

---

## ВВЕДЕНИЕ

Виноград скоропортящийся продукт. Продлить сроки его потребления, сохранить пищевую и энергетическую ценность можно производством соков [1].

По объему потребления на российском рынке лидирует яблочный сок, второе место занимает цитрусовый, на третьем – мультифруктовые смеси и виноградный сок, который в большинстве случаев производится в смеси с яблочным [2].

Пищевая ценность соков из винограда, очень высока. В них хорошо сохраняются имеющиеся в ягодах витамины, сахара, минеральные, красящие и другие биологически активные вещества, что определяет их вкусовые, диетические и питательные свойства [3, 4].

Для достижения максимального сохранения в готовой продукции ценных компонентов винограда наиболее приоритетной является технология производства соков способом прямого отжима, позволяющая получать продукцию наивысшего качества с максимальным сохранением биологической ценности сырья, индивидуального сортового аромата и уникальных органолептических свойств винограда, определенного ампелографического сорта [5, 6].

В последние десятилетия во всем мире возрос интерес к сортам с темной окраской ягод винограда и продуктам переработки из них, что обусловлено расширением сведений о природе и биохимических свойствах антоцианов – красящих веществ ягод [7]. Полифенолы, содержащиеся в его кожуре, мякоти, определяют антиоксидантную активность продуктов переработки, снижают риск возникновения заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем, стресса,

аллергии, лучевой болезни, отравления, старения организма, сахарного диабета и других нарушений обмена веществ [8, 9].

Среди нефлавоноидных полифенолов соки отличаются наибольшим относительным содержанием оксибензойных и оксикоричных кислот [10]. В Грузии в красном соке и кожуре винограда обнаружен биологически активный стильбеноидный глюкозид [11]. Среди основных фенольных веществ, содержащихся в винограде и винах из темноокрашенных сортов винограда стильбеноиды обладают значительной биологической активностью. Они обуславливают лечебно-профилактическое воздействие в лечении онкологических и ряде других заболеваний [12, 13].

Физико-химические показатели натуральных соков из винограда, произрастающего в условиях лесостепи Алтайского Приобья не изучены, а органолептические свойства только по отдельным сортам, поэтому получение соков прямого отжима обладающих высоким содержанием биологически активных веществ является актуальной задачей.

Цель – исследование качества натурального сока сортового винограда, выращенного в условиях лесостепи Алтайского Приобья.

Задачи исследования:

- оценить физико-химический состав соков;
- дать органолептическую оценку натуральных соков прямого отжима из винограда.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЪЕКТЫ

Исследования проведены в отделе «НИИ садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко» Федерального Алтайского научного центра агроботехнологий (отдел «НИИСС»

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАТУРАЛЬНЫХ СОКОВ ИЗ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА С ТЕМНОЙ ОКРАСКОЙ ЯГОД

ФГБНУ ФАНЦА). Объекты исследований: образцы соков изготовленные из интродуцированных столовых сортов винограда: Агат донской (селекции ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко), Подарок Шатилова (Оренбургская ОС); бессемянных: Кишмиш уникальный (неизвестного происхождения), Память Домбковской (Оренбургская ОС), универсальных: Зилга (Латвия), Северный (ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко), Хасанский Боуса и Экспресс (ДВОС ВНИИР); технических: Мускат блау (Швейцария). Для контрольного образца сока использован универсальный сорт Катыр (селекции отдела «НИИСС»). Исследования проведены в 2020-2021 гг. Дегустационная оценка продукта переработки дана по 5-балльной шкале. Физико-химические исследования соков проводили по ГОСТ: ISO 2173-2013, ISO 750-2013, 26188-2016. Сахара определяли по Методическим рекомендациям [14].

Приготовление сока и проведение биохимического анализа осуществлено сотрудниками лаборатории промышленных технологий отдела «НИИСС», дегустационная оценка – совместно с сотрудниками лаборатории селекции плодовых и ягодных культур отдела «НИИСС».

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Соки приготовлены в соответствии с основными технологическими инструкциями и нормативными материалами по производству консервной продукции (ТР ТС 023/2011).

Грозди тщательно промывали проточной водой, ягоды отделяли от гребней, отбраковывали гнилые, поврежденные, незрелые. Соки получали на винтовом лабораторном

прессе. Фильтровали натуральные соки через плотную ткань, разливали горячим способом в стерильные банки, укупоривали.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Погодные условия в годы исследований для культуры винограда были благоприятными. Сумма активных температур составляла 2386,0-2671,1°С, сумма осадков за вегетационный период – 207,7-233,1 мм. Более благоприятные погодные условия отмечены в 2020 г. (сумма активных температур выше на 285,1°С), поэтому ягоды собирали в более ранние сроки (20.08-17.09), чем в 2021 г. (06.09-23.09).

Сок готовили из сортов винограда очень раннего и раннего срока созревания, различного направления, с темной окраской ягод разных оттенков. У пяти сортов окраска ягод черная (Катыр, Кишмиш уникальный, Мускат блау, Память Домбковской, Хасанский Боуса), у одного – синяя (Зилга), двух – темно-синяя (Северный, Экспресс), одного также темно-синяя или красно-фиолетовая (Агат донской) и одного – темно-фиолетовая (Подарок Шатилова).

Максимальную оценку за внешний вид (4,9 балла) получили соки (таблица 1) из сортов винограда Мускат блау и Память Домбковской. Сок из винограда сорта Мускат блау обладает стабильно высокими органолептическими свойствами и насыщенной, красной окраской, мускатным ароматом, гармоничным вкусом. За годы исследований общая дегустационная оценка этого сорта составила в среднем 4,8 балла.

Таблица 1 – Дегустационная оценка сока из винограда, балл, 2021-2022 гг.  
Table 1 – Tasting evaluation of grape juice, score, 2021-2022

Сорт	Внешний вид	Вкус	Аромат	Общая оценка
Катыр (контроль)	4,5	4,5	4,5	4,5
Агат донской	4,7	4,6	4,5	4,6
Зилга	4,7	4,6	4,7	4,7
Кишмиш уникальный	4,8	4,7	4,5	4,7
Мускат блау	4,9	4,9	4,7	4,8
Память Домбковской	4,9	4,5	4,5	4,7
Подарок Шатилова	4,5	4,5	4,5	4,5
Северный	4,7	4,5	4,5	4,5
Хасанский Боуса	4,8	4,6	4,6	4,7
Экспресс	4,7	4,7	4,6	4,7
среднее	4,7	4,6	4,6	4,6
lim	4,5-4,9	4,5-4,9	4,5-4,7	4,5-4,8

Разница по вкусу между сортами незначительна – 0,1-0,4 балла. Максимальную оценку за вкус получил сок из ягод винограда *POLZUNOVSKIY VESTNIK № 3 2022*

Мускат блау (4,9 балла). Сок из ягод сортов Кишмиш уникальный и Экспресс гармоничного вкуса (4,7 балла). Приятные вкусовые ка-

чества на уровне сорта Катыр (4,5 балла) у шести сортов (4,5-4,6 балла).

Меньшая оценка за аромат сока (4,5 балла) – на уровне контроля, отмечена у сортов Подарок Шатилова и Северный. Наиболее выраженный приятный аромат имел сок, из ягод сортов Мускат блау и Зилга (4,7 балла). Отношение у дегустаторов к соку из сорта Зилга, имеющего легкий изабелльный аромат, неоднозначное. Одни респонденты ставили очень высокую оценку (5,0 балла), другие на балл ниже (4,0). Ярко выраженный мускатный аромат сока из сорта Мускат блау отмечен большинством дегустаторов.

Максимальную общую дегустационную оценку натурального сока получил сорт Мускат блау (4,8 балла). Высокую оценку этого продукта имели соки из ягод универсальных сортов Зилга, Хасанский Боуса, Экспресс, бессемянных – Кишмиш уникальный, Память

Домбковской. У столового сорта Агат донской общая дегустационная оценка составила 4,6 балла. Универсальный сорт Северный и столовый Подарок Шатилова получили общую оценку на уровне контроля Катыр – 4,5 балла.

Соки из всех сортов обладали привлекательной окраской сока разных оттенков. Один образец сока имел насыщенный темно-красный цвет (сорт Зилга), красный – два (Мускат блау, Северный), схожий с контролем темно-розовый – три (Агат донской, Память Домбковской, Хасанский Боуса), розовый – три (Кишмиш уникальный, Подарок Шатилова, Экспресс).

Соки из изученных сортов имели привлекательный внешний вид, обладали гармоничным вкусом и ароматом, свойственным свежему винограду, общая оценка в среднем по 10 сортам составила 4,6 балла.

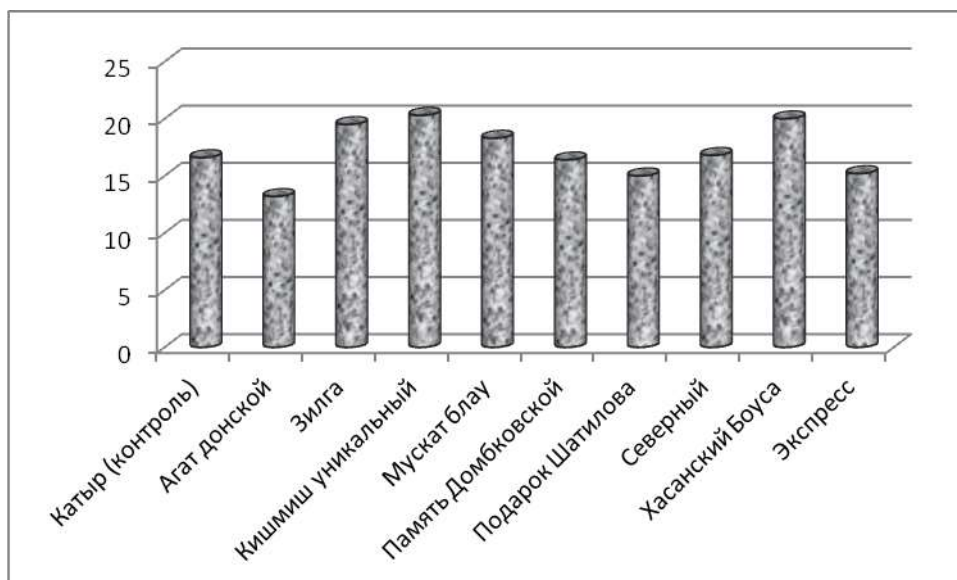


Рисунок 1 – Растворимые сухие вещества, %  
Figure 1 – Soluble dry substances, %

Содержание растворимых сухих веществ (рисунок 1) в соках изучаемых сортов варьировало от 13,2 до 20,3 %, что соответствует продукции марочных сортов. Максимальное содержание растворимых сухих веществ определено в образцах сока, из сортов Кишмиш уникальный и Хасанский Боуса (20,0-20,3 %), минимальное – Агат донской (13,5 %). Содержание изучаемого показателя в соке из сортов Память Домбковской (16,4 %), Северный (16,8 %) находилось на уровне с контрольным сортом Катыр (16,6 %), у сортов Мускат блау, Зилга, превышало соответственно на 1,7 и 2,9 %.

Массовая концентрация сахаров варьирова-

ла от 11,6 до 19,5 г/100 г, в среднем по сортам она составила 15,9 г/100 г (табл. 2). Максимальное содержание сахаров отмечено в соке из сортов винограда Кишмиш уникальный (19,5 г/100 г) и Хасанский Боуса (19,1 г/100 г).

Титруемая кислотность в натуральном соке колебалась от 0,6 до 1,4 %. На качественный состав и количественное содержание органических кислот в соках оказывают влияние биологические свойства сортов и почвенно-климатические факторы [15]. В очень жаркий и сухой 2020 г. титруемая кислотность в соке ниже, чем в 2021 г. Минимальное ее содержание выявлено в соке из

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАТУРАЛЬНЫХ СОКОВ ИЗ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА С ТЕМНОЙ ОКРАСКОЙ ЯГОД

винограда Агат донской (0,6 %), максимальное – Память Домбковской и Северный (1,4 %). В среднем по 10 сортам содержание изучаемого показателя составило 1,1 %.

Таблица 2 – Физико-химический состав соков, 2021-2022 гг.

Table 2 – Physico-chemical composition of juices, 2021-2022

Сорт	Сахара, г/100 г	Титруемая кислотность, %	pH
Катыр (контроль)	15,4	1,3	2,8
Агат донской	11,6	0,6	3,0
Зилга	18,5	1,2	3,0
Кишмиш уникальный	19,5	1,2	2,9
Мускат блау	17,2	1,0	3,0
Память Домбковской	15,1	1,4	2,8
Подарок Шатилова	13,6	0,9	2,9
Северный	15,6	1,4	2,7
Хасанский Боуса	19,1	1,3	2,8
Экспресс	13,8	0,9	2,9
среднее	15,9	1,1	2,9
lim	11,6-19,5	0,6-1,4	2,7-3,0

Концентрация водородных ионов (pH) является одним из важных показателей для характеристики сока, так как отражает активную кислотность. Также pH, как показатель реакции среды, определяет условия развития полезных и болезнетворных микроорганизмов, направленность химических, биохимических и физико-химических процессов, протекающих в соках [16]. В исследуемых образцах активная кислотность колебалась от 2,7 до 3,0. Минимальный ее показатель выявлен в образце сока из винограда Северный (2,7), максимальный – Агат донской, Зилга, Мускат блау (3,0).

Сок из винограда сорта Мускат блау обладает стабильно высокими органолептическими свойствами и насыщенной, красной окраской, мускатным ароматом, гармоничным вкусом. За годы исследований общая дегустационная оценка этого сорта составила в среднем 4,8 балла.

По основным органолептическим качествам и физико-химическим показателям виноградные соки соответствуют требованиям ГОСТ 32101-2013 и ТР ТС 023/2011.

### ВЫВОДЫ

Все изученные сорта винограда, произрастающие в лесостепи Алтайского Приобья пригодны для производства высококачественных натуральных соков (общая дегустационная оценка 4,5-4,8 балла).

По физико-химическим показателям соки из всех сортов соответствовали требованиям ГОСТ. Содержание растворимых сухих веществ варьировало от 13,5 до 20,3 %, титруемых кислот – от 0,6 до 1,4 %. Массовая концентрация сахаров колебалась от 11,6 до 19,5 г/100 г.

Наиболее привлекательный внешний вид (4,7-4,9 балла), хорошие вкусовые качества (4,6-4,9 балла) и аромат (4,5-4,7 балла), выраженные

высокой общей органолептической оценкой (4,7-4,8 балла) имели образцы сока из сортов Зилга, Кишмиш уникальный, Мускат блау, Хасанский Боуса, Экспресс.

Из винограда изучаемых сортов можно производить виноградный сок хорошего качества по названию ампелографического сорта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Зармаев А.А. Подбор сортов винограда для производства сока с цветочным ароматом в условиях Чеченской Республики // Научные труды СКЗНИИСИВ. 2016. Т. 11. С. 78-81.
- 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: материалы 75-й науч.-практ. конф. Ставрополь: Ставропольское издательство «Параграф», 2011. С. 149-152.
- Миронова Е.А., Шкиря Н.А. Совершенствование технологии осветления виноградных соков прямого отжима с использованием современных вспомогательных материалов // Достижения молодых учёных в АПК: материалы Всеросс. науч.-практ. конф. студентов, магистров, аспирантов и молодых учёных. Махачкала: ДагАУ, 2019. С. 19-27.
- Азадова Э.Ф., Ибрагимов А.И., Пилипенко И.В., Рахманова М.М., Атаева А.У., Мустафаева К.К. Усовершенствованная технология производства виноградного сока для детского питания / Сб.: Повышение качества и безопасности пищевых продуктов. Матер. VII Всероссийской науч.-практ. конф. Махачкала: Дагестанский Государственный технический университет. 2017. С. 46-49.
- Производство виноградных соков прямого отжима из новых сортов винограда / М.И. Панкин [и др.]. // Виноделие и виноградарство. 2009. № 2. С. 28-31.
- Сосюра Е.А. Разработка технологии напитков функционального назначения на основе виноградного сока: дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2014. 208 с.
- Редька В.М., Нудьга Т.А., Прах А.В., Гугучкина Т.И. Сравнительная оценка красных форм винограда селекции СКЗНИИСИВ по качественным характеристикам столового вина // Параметры адаптивности многолетних культур в современных условиях развития садоводства и виноградарства Сб. мат. пятой Межд. дист. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Краснодар: ГНУ СКЗНИИСИВ, 2013. С. 324-332.

8. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и их влияние на здоровье и старение человека / Я.И. Яшин [и др.]. М.: трансЛит, 2009. 192 с.

9. Биологические активные вещества винограда и здоровье: монография / Под общ. ред. Загайко А.Л. Х.: Изд-во «Форт», 2012. 404 с.

10. Оценка антиоксидантной активности продуктов переработки винограда с применением амперометрического метода и биолуминесцентного теста / А.М. Авидзба [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 12. С. 113-118.

11. Бежуашвили М., Окруашвили Д., Шубладзе Л. Стильбеноид цис-питеид в винограде красно-ягодных сортов, распространенных в Грузии // Виноградарство и виноделие. 2013. №3. С. 28-29.

12. Bezhuashvili N. Kobaialze T., Shubladze L., Okruashvili D. Content of the Biologically Active. Trans-Resveratrol and Viniferin in Color. Vine Varieties Growing in Georgia // Bulletin of The Georgian National Academy of Sciences. 2011. vol. 5. №2, pp. 61-64.

13. Guebai H., Chilra K., Richard T., Mabrouk T., Furiga A., Vitrac X. monthi lean-Pieppe, delaunay Yean-Michael. Hopeaphenol: The first resveratrol Tetramer in Wines from North Afrika. I. Agric. Food Chem. 2006, 54, pp. 9559-9564.

14. Методические рекомендации, по технологической оценке, сортов винограда для виноделия, Ялта, 1983. 71 с.

15. Даудова Т.И., Власова О.К. Состав и содержание органических кислот в соке и виноматериалах из винограда, выращенного в северо-западной зоне Дагестана // Известия Вузов. Пищевая технология. 2018. №1. С. 28-31.

16. Механический состав гроздей и биохимия белых винных сортов винограда для производства сока прямого отжима / В.М. Чаусов [и др.]. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 106. С. 1179-1194.

### Информация об авторах

Г. А. Макарова – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий, т. сот. 8-909-503-23-81.

О. Ю. Михайлова – младший научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий.

### REFERENCES

1. Zarmaev, A.A. (2016). Selection of grape varieties for the production of juice with floral aroma in the conditions of the Chechen Republic. *Scientific works of SKZNIISiV*. (11). 78-81.

2. Sosyura, E.A. & Burtsev, B.V. (2011). The current state and prospects of development of the juice market of Russia. *Modern resource-saving innovative technologies of cultivation of agricultural crops in the North Caucasus Federal District: materials of the 75th scientific and practical conference*. Stavropol: Stavropol publishing House "Paragrapi", 149-152. (In Russ.).

3. Mironova, E.A. & Shkiryа N.A. (2019). Improving the technology of clarification of grape juices of direct pressing using modern auxiliary materials. *Achievements of young scientists in agriculture: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of students, masters, postgraduates and young scientists*. Makhachkala: DagGAU. (In Russ.).

4. Azadova, E.F., Ibragimov, A.I., Pilipenko, I.V., Rakhmanova, M.M., Ataeva, A.U. & Mustafayeva, K.K. (2017). Improved technology of grape juice production for baby food. *Collection: Improving the quality and safety of food products. Mater. VII All-Russian Scientific and Practical Conference*. Makhachkala: Dagestan State Technical University. (In Russ.).

5. Pankin, M. I. [et al.]. (2009). Production of grape juices of direct extraction from new grape varieties. *Winemaking and viticulture*. (2), 28-31. (In Russ.)

6. Sosyura, E.A. (2014). Development of technology of functional drinks based on grape juice. Candidate's thesis. Krasnodar. (In Russ.)

7. Radish, V.M., Nudga, T.A. Prakh, A.V. & Guguchkina, T.I. (2013). Comparative evaluation of red grape forms of selection of SKZNIISiV by qualitative characteristics of table wine // Parameters of adaptability of perennial crops in modern conditions of horticulture and viticulture development Sat. mat. Fifth Interd. Dist. scientific and practical conf. of young scientists. Krasnodar: GNU SKZNIISiV. (In Russ.)

8. Ya.I. Yashin [et al.]. (2009). Natural antioxidants. *The content in food products and their impact on human health and aging*. Moscow: transLit. (In Russ.)

9. Zagayko, A.L. (2012). Biological active substances of grapes and health: monograph. H.: Publishing house "Fort". (In Russ.)

10. Avidzba, A.M. [et al.] (2015). Evaluation of the antioxidant activity of grape processing products using the amperometric method and bioluminescent test. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 29(12), 113-118. (In Russ.)

11. Bezhuashvili, M., Okruashvili, D. & Shubladze, L. (2013). Stilbenoid cis-piteid in red grapes varieties common in Georgia. *Viticulture and winemaking*. (3), 28-29.

12. Bezhuashvili, N. Kobaialze, T., Shubladze, L. & Okruashvili D. (2011). Content of the Biologically Active. Trans-Resveratrol and Viniferin in Color. Vine Varieties Growing in Georgia. *Bulletin of The Georgian National Academy of Sciences*. 5(2), 61-64.

13. Guebai, H., Chilra, K., Richard, T., Mabrouk, T., Furiga, A., Vitrac, X. Monthi lean-Pieppe, & Delaunay Yean-Michael. (2006). Hopeaphenol: The first resveratrol Tetramer in Wines from North Afrika. I. *Agric. Food Chem.*, (54), 9559-9564.

14. Methodological recommendations for the technological evaluation of grape varieties for winemaking. (1983). Yalta (In Russ.)

15. Daudova, T.I. & Vlasova, O.K. (2018). Composition and content of organic acids in juice and wine materials from grapes grown in the northwestern zone of Dagestan. *News of Universities. Food technology*. (1), 28-31. (In Russ.)

16. Chausov, V.M. [et al.]. (2015). Mechanical composition of bunches and biochemistry of white wine grape varieties for the production of direct-pressed juice. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. (106), 1179-1194. (In Russ.)

### Information about the authors

G. A. Makarova – Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.

O. Yu. Mikhailova – junior researcher, Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.



Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)  
УДК 664.77

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.010



## КАЧЕСТВО МУКИ ИЗ ЗЕРНА СОРГО И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА ИЗ СМЕСИ ПШЕНИЧНОЙ И СОРГОВОЙ МУКИ

Екатерина Сергеевна Серебренникова <sup>1</sup>, Людмила Витальевна Анисимова <sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> silver.775594@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0651-3512>

<sup>2</sup> anislv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7900-2935>

**Аннотация.** Изучено качество муки, полученной из голозерного зерна сорго сорта Орловское с использованием и без использования гидротермической обработки (ГТО), качество смесей муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и сорговой муки. Исследованы реологические свойства теста из мучных смесей. Подготовка зерна сорго для получения муки включала очистку от примесей, обработку в лабораторной шелушительно-шлифовальной машине, разделение полученных после шелушения и шлифования продуктов: мучку выделяли проходом через сито из проволочной сетки № 08, дробленое ядро – проходом через пробивное сито с диаметром отверстий 1,5 мм, шлифованное ядро и нешелушенные зерна – сходом с сита с диаметром отверстий 1,5 мм, лузгу отвеивали на лабораторном аспираторе. Шлифованное ядро измельчали на лабораторной молотковой мельнице со встроенным ситом № 08. Гидротермическую обработку проводили перед операцией шелушения зерна. Гидротермическая обработка включала пропаривание зерна в лабораторном пропаривателе и его последующую сушку в лабораторной сушилке. Реологические характеристики теста определяли на приборе Mixolab Chopin (Франция) с использованием стандартного протокола СНОРИН+ и системы Profiler, а также при определении характеристик фаринографа с использованием протокола Simulator.

Установлено, что мука из зерна сорго, прошедшего ГТО, имеет хорошие органолептические характеристики, а именно: сладковатый привкус и приятный пряничный запах, однако мука из зерна сорго, не прошедшего ГТО, имеет более светлый оттенок. Оба вида сорговой муки в смеси с мукой пшеничной в количестве 10 % снижают содержание клейковины и укрепляют ее, снижают активность ферментов. Вместе с тем, внесение в мучную смесь муки из зерна сорго, прошедшего ГТО, улучшает реологические свойства теста. Так, происходит увеличение водопоглотительной способности муки, увеличивается стабильность теста и снижается его разжижение.

**Ключевые слова:** мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, сорговая мука, пропаривание, сушка, гидротермическая обработка, миксолаб, реологические свойства теста, водопоглотительная способность, Profiler, Simulator.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России на создание и развитие инженерингового центра в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты».

---

**Для цитирования:** Серебренникова Е. С., Анисимова Л. В. Качество муки из зерна сорго и реологические свойства теста из смеси пшеничной и сорговой муки // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 71-80. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.010. EDN: <https://elibrary.ru/lkqtwr>.

---



Original article

## QUALITY OF SORGHUM FLOUR AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DOUGH MADE FROM A MIXTURE OF WHEAT AND SORGHUM FLOUR

Ekaterina S. Serebrenikova <sup>1</sup>, Ludmila V. Anisimova <sup>2</sup>

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> silver.775594@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0651-3512>

<sup>2</sup> anislv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7900-2935>

**Abstract.** *The quality of flour obtained from bare grain sorghum of the Orlovskoye variety with and without the use of hydrothermal treatment, the quality of mixtures of wheat baking flour of the highest grade and sorghum flour was studied. The rheological properties of dough from flour mixtures are investigated. Preparation of sorghum grain for flour production included purification from impurities, processing in a laboratory peeling and sanding machine, separation of products obtained after peeling and sanding: flour was isolated by passing through a wire mesh sieve No. 08, crushed core - by passing through a punching sieve with a hole diameter of 1.5 mm, the polished kernel and non-husked grains - coming off a sieve with a hole diameter of 1.5 mm, the husk was sifted on a laboratory aspirator. The ground core was crushed on a laboratory hammer mill with a built-in sieve No. 08. Hydrothermal treatment was performed before the grain peeling operation. Hydrothermal treatment included steaming the grain in a laboratory steamer and its subsequent drying in a laboratory dryer. The rheological characteristics of the test were determined on the Mixolab Chopin device (France) using the standard CHOPIN+ protocol and the Profiler system, as well as when determining the characteristics of the farinograph using the Simulator protocol.*

*It has been established that flour from sorghum grain that has passed the hydrothermal treatment has good organoleptic characteristics, namely: a sweet taste and a pleasant gingerbread smell, but flour from sorghum grain that has not passed the hydrothermal treatment has a lighter shade. Both types of sorghum flour mixed with wheat flour in an amount of 10% reduce the gluten content and strengthen it, reduce the activity of enzymes. At the same time, the introduction of sorghum grain flour into the flour mixture, which has passed the hydrothermal treatment, improves the rheological properties of the dough. Thus, there is an increase in the water-absorbing capacity of flour, the stability of the dough increases and its liquefaction decreases.*

**Keywords:** *wheat baking flour of the highest grade, sorghum flour, steaming, drying, hydrothermal treatment, mixolab, rheological properties of the dough, water absorption capacity, Profiler, Simulator.*

**Acknowledgements:** *The research was carried out with the support of a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the creation and development of an engineering center within the framework of the federal project "Development of infrastructure for Research and Training" of the national project "Science and Universities".*

---

**For citation:** Serebrenikova, E. S. & Anisimova, L. V., (2022). Quality of sorghum flour and rheological properties of dough made from a mixture of wheat and sorghum flour. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 71-80. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.010.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в области хлебопечения смещаются в сторону не только улучшения вкусовых свойств готового продукта, но и поддержания здоровья конечного потребителя [1]. Таким образом, все больше развивается применение перспективных обогатителей растительного происхождения, способных улучшить органолептические ха-

рактеристики хлеба и хлебобулочных изделий, а также повысить их пищевую ценность [2, 3]. Одним из таких источников может выступить зерно сорго.

Сорго относится к числу культур, которые хорошо приспосабливаются к условиям окружающей среды, в частности, это засухоустойчивая и нетребовательная к почвам культура [4, 5].

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022

## КАЧЕСТВО МУКИ ИЗ ЗЕРНА СОРГО И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА ИЗ СМЕСИ ПШЕНИЧНОЙ И СОРГОВОЙ МУКИ

Сорго, по данным FAOSTAT на 2020 г., занимает пятое место в мире по посевным площадям после кукурузы, пшеницы, риса и ячменя. Его основными производителями являются Судан, Индия, Нигерия, Нигер и США. В Российской Федерации по площади возделывания эта культура занимает 44 место [6].

Сорго богато важными для питания человека нутриентами, в частности, зерно содержит до 71 % крахмала, до 16 % белка, около 5 % жира. Кроме того, зерно сорго обладает богатым витаминно-минеральным составом: содержит витамины группы В, витамин Е, калий, фосфор, магний, железо, селен, марганец, медь, молибден, фосфор и др. [7, 8, 9, 10].

По литературным данным белок зерна сорго способен снижать количество холестерина в крови и нормализовать нагрузку пищеварительной системы человека. В составе жира сорго содержится большое количество (около 86 %) незаменимых ненасыщенных жирных кислот, к числу которых относятся линолевая и линоленовая кислоты [11].

Мука из зерна сорго используется как основной компонент в хлебопечении ряда стран с традиционно высоким потреблением данной культуры [12]. Кроме того, из зерна сорго получают напитки, крупы, сорговый крахмал, сиропы, биоэтанол, а также продукты переработки сорго используют в качестве антиоксидантных добавок [13, 14].

Хотя белок сорго обладает многими полезными свойствами, он не является клейковинообразующим белком, поэтому существует необходимость всестороннего изучения возможности добавления муки из сорго в хлеб и хлебобулочные изделия. Реологические характеристики теста с добавлением сорговой муки являются наиболее подходящими для изучения этого вопроса. Производители муки, а также хлебопекарные предприятия по всему миру признают физические свойства теста основным инструментом для оценки качества муки и мучных смесей [15, 16].

Целью данной работы явилось изучение качества сорговой муки, а также исследование реологических свойств теста из мучных смесей с добавлением муки из зерна сорго, прошедшего гидротермическую обработку (ГТО) и не прошедшего таковую, в количестве 10 % взамен муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта.

### МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ

В опытах использовали сорго зерновое красное сорта Орловское. Гидротермическая

обработка зерна включала в себя операции пропаривания в лабораторном пропаривателе и сушки в лабораторной сушилке конвективного типа.

Подготовка зерна сорго для получения муки, помимо ГТО, включала очистку от примесей и обработку в лабораторной шелушильно-шлифовальной машине типа ЗШН. Продукты шелушения разделяли с помощью набора сит (проход через металлотканое сито № 08 – мучка, проход через сито с диаметром отверстий 1,5 мм – дробленое ядро, сход с сита с диаметром отверстий 1,5 мм – шлифованное ядро и нешелушенные зерна) и лабораторного аспиратора для отвеивания лузги. Сорговую муку получали путем измельчения шлифованного ядра на лабораторной мельнице молоткового типа со встроенным ситом № 08.

В исследованиях также использовали муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта со следующими показателями качества: цвет – белый с кремовым оттенком; запах – свойственный пшеничной муке, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый; вкус – свойственный пшеничной муке, без посторонних привкусов, не кислый, не горький; наличие минеральной примеси – при разжевывании муки хруста не ощущается; белизна – 57,8 усл. ед. РЗ-БПЛ; количество клейковины – 28,6 %; качество клейковины – 59 ед. ИДК; число падения – 297 с; влажность – 13,7 %; крупность помола – остаток на сите N 45/50 ПА 2,4 %; зараженность вредителями хлебных запасов – не обнаружена; загрязненность вредителями хлебных запасов – не обнаружена. При определении качества муки использовали действующую нормативную документацию.

При получении мучных смесей добавляли сорговую муку взамен муки пшеничной в количестве 10 %.

Реологические характеристики теста определяли на приборе *Mixolab Chopin* (Франция) с использованием стандартного протокола CHOPIN+ и системы Profiler, а для определения характеристик фаринографа – с использованием протокола Simulator.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Качество и химический состав муки из зерна сорго, полученной с использованием ГТО и без использования ГТО, приведены в таблице 1.

При определении качественных характеристик муки руководствовались действующей нормативной документацией для мето-

дов исследования муки пшеничной. Химический состав сорговой муки определяли в соответствии с действующими стандартами.

Из представленных в таблице 1 данных следует, что при использовании ГТО зерна мука из сорго темнеет. Темная окраска муки появляется за счет накопления меланоидинов, которые образуются вследствие протекания реакции Майара. Развитию данной ре-

акции способствует образование продуктов распада сложных соединений, в первую очередь, белков и крахмала, под действием высокой температуры при ГТО зерна. Появление у муки приятного пряничного запаха и сладковатого вкуса так же является следствием накопления продуктов распада сложных соединений при ГТО зерна сорго.

Таблица 1 – Качество сорговой муки, полученной с использованием гидротермической обработки и без использования ГТО зерна

Table 1 – The quality of sorghum flour obtained using hydrothermal treatment and without the use of grain hydrothermal treatment

Сорговая мука	Вкус	Цвет	Запах	Влажность, %	Зольность, % на СВ	Число падения, с	Белок (N×5,7), % на СВ	Жир, % на СВ	Крахмал, % на СВ
С ГТО зерна	Сладковатый	Коричневый с красноватым оттенком	Приятный пряничный	10,5	1,36	512	11,8	3,9	62,8
Без ГТО зерна	Имеет сладковатое послевкусие	Бежевый с розоватым оттенком	Свойственный зерну сорго	10,4	1,26	536	11,8	3,6	69,0

СВ – сухое вещество

Содержание крахмала в муке после ГТО зерна снижается более чем на 6 %, что подтверждает сказанное выше.

Общее содержание белка и жира в муке после ГТО зерна сорго практически не изменилось, что согласуется с литературными данными по другим культурам [17].

Повышение зольности муки, вероятнее всего, следствие миграции минеральных соединений из оболочек внутрь зерновки при ГТО зерна. Число падения муки после ГТО остается достаточно высоким и составляет

512 с, что говорит о малой активности ферментов.

В таблице 2 представлены качественные характеристики мучных смесей на основе муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта с заменой 10 % мукой из зерна сорго.

Из приведенных данных следует, что в сравнении с мукой пшеничной количество клейковины в смесях снизилось при добавлении обоих видов сорговой муки. Снижение содержания клейковины в смесях объясняется отсутствием клейковинообразующих белков в сорговой муке. .

Таблица 2 – Качество мучных смесей с заменой 10 % муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта мукой из зерна сорго, полученной с использованием ГТО и без ГТО зерна

Table 2 – The quality of flour mixtures with the replacement of 10 % wheat flour of the highest grade with flour from sorghum grain obtained using hydrothermal treatment and without hydrothermal treatment of grain

Мучная смесь	Влажность, %	Белизна, усл. ед. РЗ-БПЛ	Количество клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Число падения, с
Мука пшеничная – 90 %; мука сорговая с ГТО – 10 %	13,1	32,1	26,0	50	315
Мука пшеничная – 90 %; мука сорговая без ГТО – 10 %	13,3	35,7	26,4	57	326

## КАЧЕСТВО МУКИ ИЗ ЗЕРНА СОРГО И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА ИЗ СМЕСИ ПШЕНИЧНОЙ И СОРГОВОЙ МУКИ

Кроме того, добавление сорговой муки укрепляет клейковину.

Число падения мучных смесей увеличивается в сравнении с мукой пшеничной высшего сорта. Значения белизны смесей подтверждают данные, приведенные ранее: сорговая мука, полученная с ГТО зерна, более темная, и соответственно мучная смесь с добавлением сорговой муки, полученной с применением ГТО, имеет белизну ниже, чем

мучная смесь с добавлением сорговой муки без ГТО.

На рисунках 1-3 представлены графики, полученные на приборе Mixolab Chopin с использованием протокола Simulator в режиме графика «Фаринограф». Показатели данного протокола соответствуют показателям фаринографа: водопоглощение теста, %; время образования теста, мин; стабильность теста (устойчивость теста к замесу), мин; разжижение теста, ЕФ.

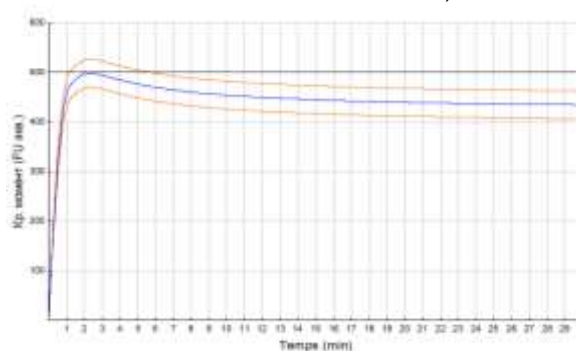


Рисунок 1 – График в режиме «Фаринограф» теста из муки пшеничной высшего сорта  
Figure 1 – Graph in the "Farinograph" mode of the dough from wheat flour of the highest grade

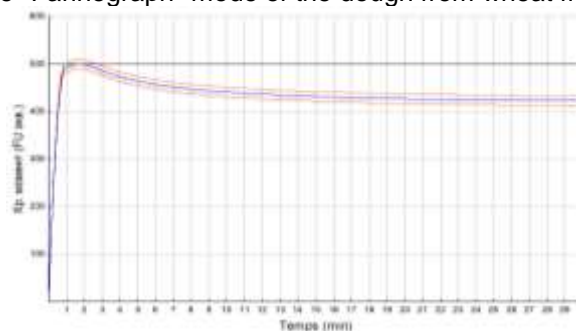


Рисунок 2 – График в режиме «Фаринограф» теста с 10 % замещением муки пшеничной сорговой мукой без ГТО зерна

Figure 2 – Graph in the "Farinograph" mode of the dough with 10% substitution of wheat flour with sorghum flour without hydrothermal treatment of grain

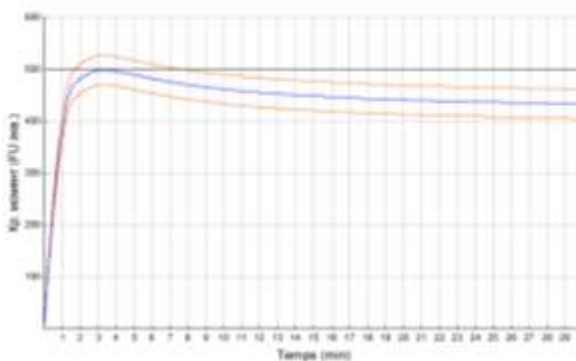


Рисунок 3 – График в режиме «Фаринограф» теста с 10 % замещением муки пшеничной сорговой мукой с ГТО зерна

Figure 3 – Graph in the "Farinograph" mode of the dough with 10% substitution of wheat flour with sorghum flour with hydrothermal treatment of grain

Водопоглотительная способность муки пшеничной высшего сорта и смесей с сорговой мукой и реологические параметры

теста, полученные с применением протокола Simulator в режиме графика «Фаринограф», представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Водопоглощение муки пшеничной (контроль) и смесей с сорговой мукой и фаринографические параметры теста

Table 3 – Water absorption of wheat flour (control) and mixtures with sorghum flour and pharynographic parameters of the dough

Мука (смесь)	Водопоглощение муки (смеси), %	Время образования теста, мин	Стабильность теста, мин	Разжижение теста, ЕФ
Контроль	56,1	2,3	4,7	53
Мука пшеничная – 90 %; мука сорговая с ГТО – 10 %	58,7	3,3	6,2	51
Мука пшеничная – 90 %; мука сорговая без ГТО – 10 %	55,0	1,8	1,8	67

Из представленных данных следует, что наибольшее значение водопоглотительной способности наблюдается у мучной смеси с замещением 10 % муки пшеничной сорговой мукой, полученной с применением ГТО.

Это можно объяснить повышенной набухаемостью крахмала, который частично разрушился при пропаривании.

Время образования теста возрастает с добавлением муки из зерна сорго, прошедшего ГТО, ввиду увеличения длительности гомогенизации компонентов смеси, содержащей меньшее количество клейковины, кроме того, водопоглотительная способность данного образца выше, чем контроля, следовательно, гидратация требует больше времени. Для образца с 10 %-ным замещением пшеничной муки мукой из зерна сорго, не прошедшего ГТО, данный показатель ниже, чем для контроля, что связано с низким показателем водопоглотительной способности.

Стабильность теста образца смеси с добавлением 10 % муки из зерна сорго, не прошедшего ГТО, в 2,6 раза ниже, чем данный показатель муки пшеничной высшего сорта. Это связано с тем, что водопоглотительная способность образца снижена, а также нарушена структура белкового каркаса муки вследствие добавления неклеяковинных компонентов. Однако, при использовании муки из зерна сорго, прошедшего ГТО, стабильность теста увеличивается. Вероятно, это говорит о том, что белковая и углеводная фракции муки сорго совместно с фракциями пшеничной муки образуют достаточно устойчивый каркас.

Показатель разжижения теста образца смеси с добавлением 10 % муки из зерна сор-

го, прошедшего ГТО, ниже, чем для контроля. Это говорит о положительном влиянии данного вида сорговой муки. Для смеси с добавлением сорговой муки без ГТО данный показатель увеличивается, что свидетельствует об ухудшении реологических характеристик теста.

Далее были проведены исследования консистенции теста в условиях изменяемой температуры теста (30-60-90-50) °С с помощью прибора *Mixolab Chopin* в режиме стандартного протокола CHOPIN+. Кроме того, с помощью системы Profiler выведены индексы, характеризующие биохимические процессы, протекающие в тесте с изменением температуры.

Во время исследования проба проходит несколько фаз:

1 фаза (образование теста) – С1 – характеризует образование теста с консистенцией, соответствующей крутящему моменту, равному  $(1,1 \pm 0,05) \text{ Н} \cdot \text{м}$  (500 ЕФ) при 30 °С;

2 фаза (разжижение теста) – С2 – соответствует повышению температуры в тестомесилке с 30 до 60 °С, характеризует изменение каркаса теста;

3 фаза (клейстеризация крахмала) – С3 – при переходе температуры от 60 до 90 °С, соответствует изменению консистенции теста за счет набухания и разрушения гранул крахмала;

4 фаза (действие амилалитических ферментов) – С4 – поддерживается постоянная температура в тестомесилке на уровне 90 °С, характеризует активность амилаз;

5 фаза (ретроградация крахмала) – С5 – снижение температуры с 90 до 50 °С, процесс, соответствующий стремлению крахма-

## КАЧЕСТВО МУКИ ИЗ ЗЕРНА СОРГО И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА ИЗ СМЕСИ ПШЕНИЧНОЙ И СОРГОВОЙ МУКИ

ла к возвращению своей первоначальной формы, характеризует черствение готовых мучных изделий.

CS – соответствует консистенции от начала нагрева [18, 19].

Графики, полученные на приборе, приведены на рисунках 4-6.

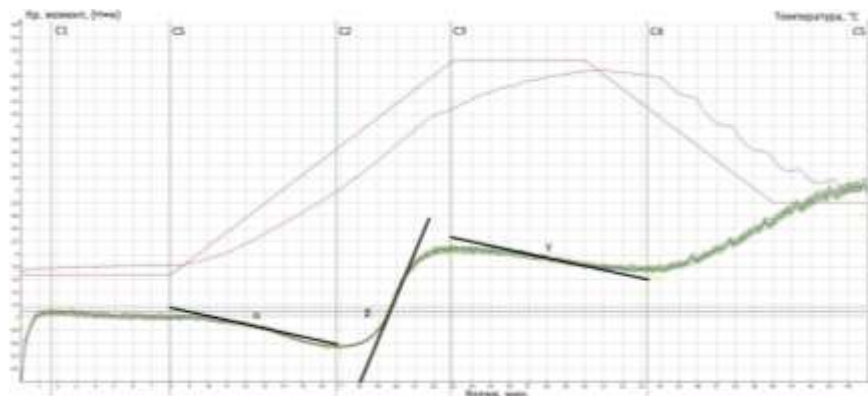


Рисунок 4 – Миксолобограмма теста из муки пшеничной высшего сорта  
Figure 4 – Mixolabogram of wheat flour dough of the highest grade

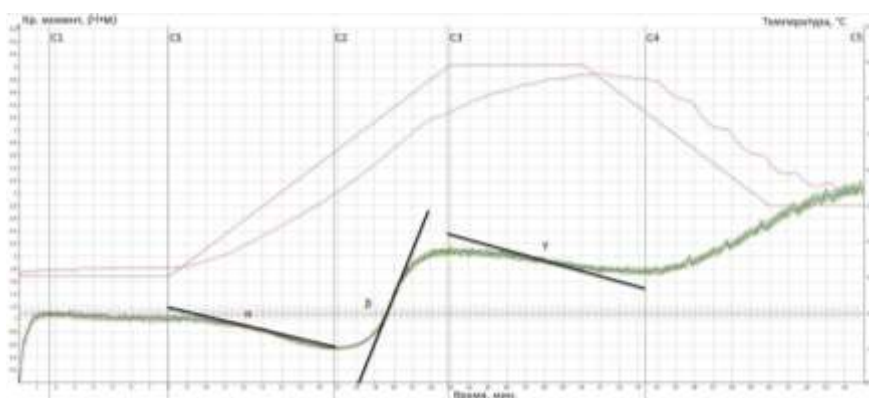


Рисунок 5 – Миксолобограмма теста с 10 % замещением муки пшеничной сорговой мукой без ГТО зерна

Figure 5 – Mixolabogram of dough with 10% substitution of wheat flour with sorghum flour without hydrothermal treatment of grain

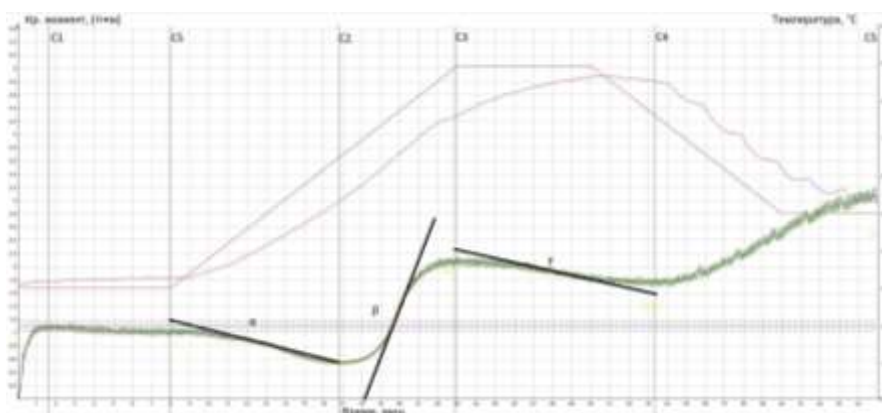


Рисунок 6 – Миксолобограмма теста с 10 % замещением муки пшеничной сорговой мукой с ГТО зерна

Figure 6 – Mixolabogram of dough with 10% substitution of wheat flour with sorghum flour with hydrothermal treatment of grain

Стоит отметить, что самой высокой стабильностью теста, мин, (10,95) обладает образец с 10 %-м замещением муки пшеничной мукой из зерна сорго, прошедшего ГТО, а самой низкой (9,90) – контрольный образец из пшеничной муки высшего сорта. Кроме того, наибольшая скорость разжижения теста ( $\alpha$ , Н·м / мин) наблюдается для образца пшеничной муки высшего сорта (-0,044), самая низкая (-0,066) – для образца с 10 %-ным замещением муки пшеничной мукой из зерна сорго, прошедшего ГТО. Это согласуется с данными, полученными в ходе оценки фаринографических характеристик теста.

Наибольшая скорость клейстеризации крахмала ( $\beta$ , Н·м / мин) (0,73) наблюдается для образца с 10 %-ным замещением муки пшеничной мукой из зерна сорго, не прошедшего ГТО. Наибольшая скорость амилолиза ( $\gamma$ , Н·м / мин) у образца муки пшеничной высшего сорта (-0,055), наименьшая – у образца с 10 %-м замещением муки пшеничной мукой из зерна сорго, не прошедшего ГТО (-0,082). Эти результаты согласуются с резуль-

татами оценки числа падения, приведенными ранее.

На рисунке 7 представлен график-сравнение трех образцов теста, сгенерированный системой Profiler. В таблице 4 приведены значения индексов муки пшеничной высшего сорта и смесей из муки пшеничной и сорговой муки.



Рисунок 7 – График-сравнение Profiler

Figure 7 – Graph-Profiler comparison

Таблица 4 – Индексы Profiler

Table 4 – Profiler Indexes

Мука (смесь)	ВПС	Замес	Клейковина	Вязкость	Амилаза	Ретроградация крахмала
Контроль	3	3	8	8	6	6
Мука пшеничная – 90 %; мука сорговая с ГТО – 10 %	5	6	7	7	3	6
Мука пшеничная – 90 %; мука сорговая без ГТО – 10 %	2	4	8	8	6	7

Оценка индекса водопоглотительной способности (ВПС) протекает в первый период времени замешивания теста и показывает количество воды, необходимое для замеса теста требуемой консистенции ( $1,1 \pm 0,05$ ) Н·м. Чем выше этот индекс, тем большее количество воды требуется для достижения такой консистенции. Из данных, представленных в таблице, следует, что добавление 10 % муки из сорго, прошедшего ГТО, увеличивает данный индекс до 5. Возможно, это связано также с увеличением размера частиц муки при добавлении муки из сорго, прошедшего ГТО, так как операция пропаривания укрепляет ядро. А поскольку при размоле ядра использовалась лабораторная мельница молоткового типа, которая не обеспечивает настолько тонкий помол, который характерен для производственных условий, нам удалось сохранить структуру белковых и крахмальных соединений, входящих в состав сорго.

Вследствие этого, они более равномерно набухали при образовании теста.

Индекс замеса характеризует стабильность и сохранность консистенции теста при воздействии лопастей прибора. Этот индекс напрямую зависит от индекса ВПС, то есть, чем большее количество воды вобрала в себя смесь, тем дольше и неохотнее она будет ее отдавать. Образец смеси с добавлением 10 % муки из зерна сорго, прошедшего ГТО, также показал наилучший результат – 6, что, вероятно, также связано с сохранностью белковых и крахмальных соединений муки.

Каркас теста – это не только белковые вещества муки, это совокупность всех биополимеров зерна, включая крахмал, липиды, а также ферменты. Взаимодействие всех этих компонентов влияет на структуру теста. Индекс клейковины характеризует сопротивление каркаса теста повышению температуры (30-60 °С). Кроме того, это период, при котором набухают гранулы крахмала, в основном

## КАЧЕСТВО МУКИ ИЗ ЗЕРНА СОРГО И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА ИЗ СМЕСИ ПШЕНИЧНОЙ И СОРГОВОЙ МУКИ

без разрушения их структуры амилазами. Данный период соответствует периоду поднятия теста в печи. Этот индекс не должен быть как слишком высоким, так и слишком низким, оптимум – от 6 до 8, поскольку слишком низкий индекс говорит о высокой растяжимости теста, а слишком высокий – об излишней упругости. Все исследуемые образцы имеют индекс от 7 до 8 и находятся в оптимуме.

Индекс вязкости показывает фазу, при которой максимальное количество химических компонентов муки вступает во взаимодействие. Чем выше данный индекс, тем равномернее и крупнее будет пористость готового изделия. Для всех исследуемых образцов данный индекс достаточно высокий – от 7 до 8.

Индекс ретроградации крахмала показывает стремление амилопектина в результате снижения температуры вернуться в первоначальное состояние. С данным процессом связана длительность свежести готового изделия. Для пшеничной муки данный показатель уже изначально достаточно высок и составляет 6. Сорговая мука не оказала большого влияния на данный индекс.

### ВЫВОДЫ

Сорговая мука, полученная с использованием ГТО зерна, имеет хорошие органолептические свойства, а именно: сладковатый привкус и приятный пряничный запах, однако мука из зерна сорго, не прошедшего ГТО, имеет более светлый оттенок. Оба вида сорговой муки увеличивают число падения в смесях с мукой пшеничной, что может положительно повлиять на муку с высокой активностью ферментов. Кроме того, сорговая мука снижает количество клейковины в смеси и укрепляет ее. Замена 10 % муки пшеничной высшего сорта мукой из зерна сорго, прошедшего ГТО, улучшает водопоглотительную способность муки, увеличивает стабильность и снижает разжижение теста.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тенденции развития хлебопекарного рынка России / Л. Н. Алайкина, О. К. Котар, Н. А. Новикова, Н. В. Уколова // *Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции.* 2019. С. 10-4.
2. Апаршева, В. В. Композиция растительных ингредиентов в технологии производства хлеба пшеничного // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета.* 2015. № 3. С. 16-22.
3. Калмыкова О. В. Влияние функциональных ингредиентов на качество хлебобулочных изделий // *Пути POLZUNOVSKIY VESTNIK № 3 2022*

интенсификации пр-ва и перераб. с.-х. продукции в соврем. условиях. 2014. С. 228-231.

4. Матвиенко Е. В. Сорго как пищевая культура // *International agricultural journal.* 2020. № 3. С. 100-108.

5. Балакай С. Г. Сорго – культура больших возможностей // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации.* 2012. № 1(05). С. 83-90.

6. FAOSTAT // *Food and Agriculture Organization of the United Nations.* Электрон. текст. дан. Режим доступа : <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.

7. Кононов В. М., Селиванова В. Ю. Пищевое сорго – перспективная зерновая культура // *Научно-агрономический журнал.* 2008. С. 26-30.

8. Разработка рецептуры хлеба профилактического назначения с применением муки из цельносмолотого зерна сорго и морковного порошка / В. С. Агибалова, Т. Н. Тертычная, Е. Е. Курчаева, И. В. Мажулина, Е. А. Андрианов // *Хлебопродукты.* 2015. № 6. С. 46-47.

9. Пашкова Е. Ю., Волкова А. В. Влияние применения муки из зерна сорго на качество хлеба из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта // *Инновационные достижения науки и техники АПК. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции.* 2018. С. 208-212.

10. Sorghum Grain: From Genotype, Nutrition, and Phenolic Profile to Its Health Benefits and Food Applications / Y. Xiong, P. Zhang, R. D. Warner, Z. Fang // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2019. Vol. 18. P. 2025-2046.

11. Перспективы применения зерна сорго для производства хлебобулочных изделий / В. С. Агибалова, Т. Н. Тертычная, В. И. Манжесов // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета.* 2012. № 2 (33). С. 189-191.

12. Анализ применения зерна сорго и продуктов его переработки в технологии хлебобулочных и мучных кондитерских изделий / Никитин И. А., Свечников А. Ю., Зоц А. Д., Алфимова А. Д., Татраев Д. А., Мириев М. О. // *Технические науки — от теории к практике.* 2016. № 12 (60). С. 123-129.

13. Время чествовать сорго / А. З. Большаков, С. М. Бондаренко, С. В. Кадыров, Ю. Н. Клепко и др. Ростов-на-Дону: ЗАО «Ростиздат», 2008. 60 с.

14. Sorghum bran as an antioxidant in pork and poultry products / A. R. Cabral, C. Waters, H. L. Laird, L.C. Cavitt, R. K. Miller, W. L. Rooney, C. Z. Alvarado, J. M. Awika, C. R. Kerth // *Meat and Muscle Biology.* 2019. № 2. P. 83.

15. The Role of Empirical Rheology in Flour Quality Control / T. Dapčević Hadnađev, M. Pojić, M. Hadnađev, A. Torbica // *Wide Spectra of Quality Control.* 2011. P. 335-360.

16. Rumler R., Schönlechner R. Effect of Sorghum on Rheology and Final Quality of Western Style Breads: A Literature Review // *Foods.* 2021. P. 1-15.

17. Мельников Е. М. Интенсификация технологических процессов крупяного производства: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.02. Москва, 1980. 41 с..

18. Индекс качества. Современный метод контроля качества муки по реологическим свойствам теста, определяемым с помощью Mixolab Profiler // *Индекс качества.* Электрон. текст. дан. Режим доступа : <https://soctrade-agro.ru/upload/iblock/819/8193aebed-77c480274d972eed22d9896.pdf>.

19. ГОСТ ISO 17718-2015 Зерно и мука из мягкой пшеницы. Определение реологических свойств теста в зависимости от условий замеса и повышения температуры. Москва: Стандартинформ, 2016. 28 с.



### Информация об авторах

Е. С. Серебренникова аспирант кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8 (3852) 29-07-55, e-mail: silver.775594@mail.ru.

Л. В. Анисимова, к.т.н., доцент, доцент кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8 (3852) 29-07-55, e-mail: anisl@mail.ru.

### REFERENCES

1. Alaikina, L.N., Kotar, O.K., Novikova, N.A. & Ukolova, N.V. (2019). Trends in the development of the bakery market in Russia. *Agrarian science in the XXI century: problems and prospects. Collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference.* 10-14. (In Russ.).
2. Aparsheva, V.V. (2015). Composition of vegetable ingredients in wheat bread production technology. *Bulletin of the Moscow State Agrarian University*, (3), 16-22. (In Russ.).
3. Kalmykova, O.V. (2014). Influence of functional ingredients on the quality of bakery products. *Ways of intensification of production and processing of agricultural products in modern conditions.* 228-231. (In Russ.).
4. Matvienko, E.V. (2020). Sorghum as a food culture. *International agricultural journal*. (3), 100-108. (In Russ.).
5. Balakai, S.G. (2012). Sorghum – culture of great opportunities. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems.* 1(05). 83-90. (In Russ.).
6. FAOSTAT. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
7. Kononov, V.M. & Selivanova, V.Yu. (2008). Food sorghum – a promising grain crop. *Scientific and agronomic journal*, 26-30. (In Russ.).
8. Agibalova, V.S., Tertychnaya, T.N., Kurchaeva, E.E., Mazhulina, I.V. & Andrianov, E.A. (2015). Development of a recipe for preventive bread with the use of flour from whole grain sorghum and carrot powder. *Bread products*. (6), 46-47. (In Russ.).
9. Pashkova, E.Yu. & Volkova A.V. (2018). The influence of the use of sorghum grain flour on the quality of bread made from high-grade wheat flour. *Innovative achievements of science and technology of the agro-industrial complex Collection of scientific works of the International Scientific and Practical Conference.* 208-212. (In Russ.).
10. Xiong, Y., Zhang, R. D. & Warner, Z. (2019). Fang Sorghum Grain: From Genotype, Nutrition, and Phenolic Profile to Its Health Benefits and Food Applications. *Com-*

*prehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* (18). 2025-2046.

11. Agibalova, V.S., Tertychnaya, T.N. & Manzhosov, V.I. (2012). Prospects of using sorghum grain for the production of bakery products. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University.* 2(33). 189-191. (In Russ.).
12. Nikitin, I.A., Svechnikov, A. Yu., Zots, A.D., Alfirmova, A.D., Tatraev, D. A. & Miriev, M. O. (2016). Analysis of the use of sorghum grain and its processed products in the technology of bakery and flour confectionery products. *Technical sciences - from theory to practice.* 12 (60). Pp. 123-129. (In Russ.).
13. Bolshakov, A.Z. Bondarenko, S.M. Kadyrov, S.V. & Klepko, Yu.N. (2008). Time to honor sorghum. Rostov-on-Don: CJSC "Rost-izdat", 60. (In Russ.).
14. Cabral, A. R., Waters C., H. L., Laird, L.C., Cavitt, R. K., Miller, W. L., Rooney, C. Z., Alvarado, J. M. & Awika, C. R. (2019). Kerth Sorghum bran as an antioxidant in pork and poultry products. *Meat and Muscle Biology.* (2). 83–83
15. Dapčević Hadnađev, T., Pojić, M., Hadnađev, M. & Torbica, A. (2011). The Role of Empirical Rheology in Flour Quality Control. *Wide Spectrum of Quality Control.* 335-360.
16. Rumler, R. & Schönlechner R. (2021). Effect of Sorghum on Rheology and Final Quality of Western Style Breads. *A Literary Review. Foods.* 1-15.
17. Melnikov, E. M. (1980). Intensification of technological processes of cereal production. Candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).
18. Quality Index. A modern method of flour quality control according to the rheological properties of the dough, determined using Mixolab Profiler. *Quality index.* Retrieved from <https://soctrade-agro.ru/upload/iblock/819/8193aebed77c480274d972eed22d9896.pdf>.
19. Grain and flour from soft wheat. (2016). Determination of the rheological properties of the dough depending on the kneading conditions and temperature rise. *HOST ISO 17718-2015.* M.: Standartinform. (In Russ.).

### Information about the authors

E. S. Serebrennikova, post-graduate student of the Department of THPZ of the Polzunov Altai State Technical University, tel.: 8 (3852) 29-07-55, e-mail: silver.775594@mail.ru.

L. V. Anisimova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of THPZ of Polzunov Altai State Technical University, tel.: 8 (3852) 29-07-55, e-mail: anisl@mail.ru.

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

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.



Научная статья  
05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств  
(технические науки)  
УДК 637.524.47  
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.011



## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФАРШЕВЫХ СИСТЕМ ИЗ СМЕСИ ГОВЯДИНЫ И СВИНИНЫ С РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕМ

Марина Александровна Вайтанис <sup>1</sup>, Зоя Рафаиловна Ходырева <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>

<sup>2</sup> rafailovna-1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6459-0271>

**Аннотация.** В статье приведены результаты социологического опроса по установлению вкусовых предпочтений потенциальных потребителей в отношении выбора мясных рубленых полуфабрикатов. Целью работы является разработка рецептурных композиций мясорастительных фаршей на основе мяса говядины и свинины в сочетании с растительным компонентом в виде тыквы. Объект исследования – мясорастительный фарш из смеси говядины и свинины с добавлением тыквы в количестве до 30 %. Предмет исследования – органолептические показатели, влагоудерживающая способность, влагосвязывающая способность, рН, массовая доля влаги, адгезия фарша с добавлением растительного компонента. Исследовано влияние различных дозировок внесения тыквы на органолептические и функционально-технологические показатели фаршевой системы. При органолептической оценке образец мясорастительного фарша содержащий тыкву в количестве 20 % получил максимальное количество баллов. Добавление тыквы в фаршевую систему приводит к повышению массовой доли влаги на 2,5 %, влагосвязывающей способности на 5,2 %, влагоудерживающей способности на 4,5 %. Внесение тыквы в фаршевую систему способствует к увеличению адгезии фаршевой системы. Количество вносимой тыквы, необходимой для достижения наилучших органолептических показателей фаршевой системы на основе говядины и свинины составило 20 % взамен мясной части.

**Ключевые слова:** мясо говядины, мясо свинины, мясорастительный фарш, тыква, органолептические и функционально-технологические показатели.

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

**Для цитирования:** Вайтанис М. А., Ходырева З.Р. Исследование свойств фаршевых систем из смеси говядины и свинины с растительным сырьем. Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 81 - 87. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.011. EDN: <https://elibrary.ru/MTVJGT>.

Original article

## INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF MINCED MEAT SYSTEMS FROM A MIXTURE OF BEEF AND PORK WITH VEGETABLE RAW MATERIALS

Marina A. Vaytanis <sup>1</sup>, Zoja R. Khodyreva <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

<sup>1,2</sup> Altai State University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>.

<sup>2</sup> rafailovna-1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>.

**Abstract.** *The article presents the results of a sociological survey to establish the taste preferences of potential consumers regarding the choice of chopped meat semi-finished products. The aim of the work is to develop recipe compositions of meat-vegetable minced meat based on beef and pork meat in combination with a vegetable component in the form of pumpkin. The object of the study is minced meat from a mixture of beef and pork with the addition of pumpkin in an amount of up to 30%. The subject of the study is organoleptic parameters, moisture-retaining, moisture-binding ability, pH, mass fraction of moisture, adhesion of minced meat with the addition of a vegetable component. The effect of various dosages of pumpkin application on the organoleptic and functional-technological parameters of the stuffing system is investigated. During the organoleptic evaluation, a sample of minced meat containing pumpkin in an amount of 20% received the maximum number of points. The addition of pumpkin to the stuffing system leads to an increase in the mass fraction of moisture by 2.5%, the water absorption capacity by 5.2 %, and water binding capacity by 4.5 %. The introduction of pumpkin into the stuffing system contributes to an increase in the adhesion of the stuffing system. The amount of introduced pumpkin needed to achieve the best organoleptic characteristics of the beef and pork-based stuffing system was 20% instead of the meat part.*

**Keywords:** *beef meat, pork meat, minced meat, pumpkin, organoleptic and functional-technological indicators*

**Acknowledgements:** *the work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (mnemocode 0611-2020-013; topic number FZMM-2020-0013, GZ No. 075-00316-20-01)".*

**For citation:** Vaytanis, M. A. & Khodyreva, Z.R. (2022). Investigation of the properties of minced meat systems from a mixture of beef and pork with vegetable raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 81–87. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.011.

### ВВЕДЕНИЕ

Производство и потребление мясной продукции в мире ежегодно увеличивается [1]. Мясные рубленые изделия являются обязательным рационом всех возрастных групп населения. Мясо является источником высококачественного белка, сбалансированного по составу аминокислот и обладающего высокой степенью усвояемости [2].

Широкое использование мясных рубленых полуфабрикатов на предприятиях питания позволяет сократить продолжительность процесса приготовления, повысить технологические свойства фарша и пищевую ценность полуфабрикатов, а также дает возможность разнообразить ассортимент изделий.

Расширение ассортимента мясных рубленых полуфабрикатов происходит за счет добавления в рецептуру растительного сырья, такого как соевые добавки, зерновые и бобовые культуры, различные виды клетчатки, овощи, ягодные выжимки и др. [3–10].

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование и разработка рецептур мясорастительных фаршей на основе мяса говядины и свинины в сочетании с тыквой и оценка органолептических и функционально-технологических свойств.

### ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

- выявить вкусовые предпочтения потенциальных потребителей в отношении мясных

*ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФАРШЕВЫХ СИСТЕМ ИЗ СМЕСИ ГОВЯДИНЫ И СВИНИНЫ С РАСТИТЕЛЬНЫМ СЫРЬЕМ

рубленых изделий;

- разработать рецептурные композиции мясорастительного фарша из смеси говядины и свинины в сочетании с растительным сырьем;

- оценить качество образцов модельных фаршей на основе мяса говядины и свинины с растительным сырьем в сравнении с контрольным образцом (с добавлением хлеба пшеничного);

- определить количество внесения тыквы, позволяющей обеспечить наилучшие характеристики качества фаршевой системы.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования был фарш из смеси говядины и свинины с добавлением тыквы (экспериментальные образцы). В исследованиях использовали тыкву продовольственную свежую по качеству соответствующую требованиям ГОСТ 7975-2013 [11]. Сырье, используемое для приготовления мясорастительного фарша на основе мяса говядины и свинины в сочетании с тыквой, соответствует требованиям нормативно-технической документации, ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 034/2013 [12,13].

Массовую долю влаги определяли по ГОСТ 33319-2015 [14]. Влагоудерживающую способность (ВУС) определяли с применением жиромера для молока, влагосвязывающую способность (ВСС) – методом прессования, рН фаршевой системы измеряли с помощью рН-метра с предварительным разведением дистиллированной воды в соотношении 1:10, адгезионные свойства на установке С. Тышкевича [15].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Потребительские предпочтения по отношению к блюдам из мясного сырья установлены путем социологического опроса потенциальных потребителей, в котором приняло участие более 100 человек разных возрастных групп. В ходе проведенного социологического опроса (рисунок 1) выяснили, что большинство респондентов, а именно 59 %, предпочитают использовать мясной фарш для приготовления рубленых изделий, 17 % - рыбный фарш, 11 % - грибной, овощной – 10 % и фруктовый - 3 %.

Наибольшее предпочтение было отдано мясному фаршу, поскольку изделия из него являются традиционными и популярными среди населения.



Рисунок 1 – Предпочтения респондентов при выборе вида фарша

Figure 1 – Respondents' preferences when choosing the type of minced meat

При установлении вида мяса, используемого респондентами для получения мясного фарша, были получены следующие результаты, представленные на рисунке 2.

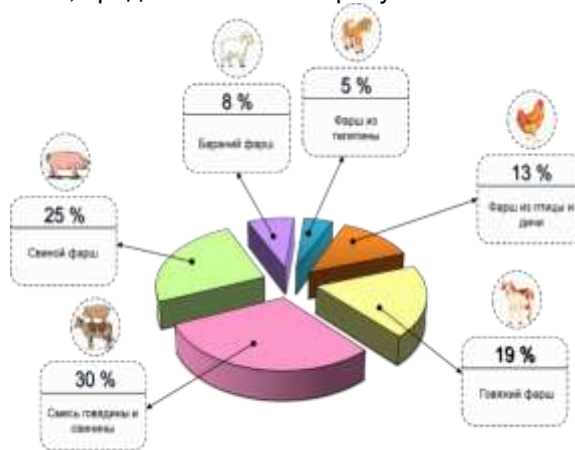


Рисунок 2 – Востребованность различных видов мяса для приготовления мясного фарша

Figure 2 – The demand for various types of meat for preparation of minced meat

Исходя из полученных данных (рис. 2) видно, что большинство респондентов (30 %) предпочитают фарш из смеси говядины и свинины, фарш из свинины – 25 %, фарш из говядины – 19 %, фарш из птицы – 13 %, фарш из баранины – 8 % и 5 % из телятины.

На рисунке 3 представлены предпочтения респондентов при выборе вида мясных рубленых изделий. В результате опроса установлено, что большинство респондентов – 47 % предпочитают из рубленых изделий – котлеты, 18 % - тефтели, 15 % - биточки, 12 % - другое и 8 % - зразы.

Кроме того, установили, какие ингредиенты используют респонденты для получения сочных мясных изделий.

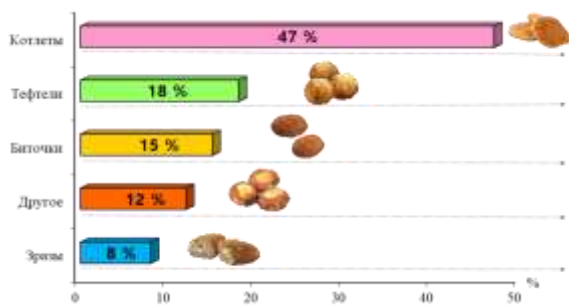


Рисунок 3 - Предпочтения респондентов в отношении вида мясных рубленых изделий

Figure 3 – Respondents' preferences regarding the type of minced meat products

Таким образом, большинство опрошенных, а именно 54 % используют хлеб, вымоченный в молоке, 23 % - картофель, 16 % - лук репчатый, 4,5 % - кабачки, 2 % капусту и 0,5 % другое.

В качестве основного сырья, для разработки рецептурных композиций мясорастительного фарша было выбрано мясо говядины и свинины. В мясе говядины содержится 75 - 85 % полноценных белков, а в свинине более 90 %. Содержание жиров в говядине составляет 90 - 94 %, в свинине от 96 - 98 % всех липидов, при этом отмечаются различия по категориям мяса [2, 16].

Говядина и свинина содержат примерно одинаковое количество (на 100 г продукта) калия – 315-355 мг, натрия – 65-100 мг, фосфора 170-190 мг, серы 165-230 мг, хлора – 50-80 мг, магния – 22-27 мг и кальция – 8-10 мг. По содержанию витаминов мяса не богато, однако при употреблении 100 г мяса обеспечивается суточная потребность в витаминах: на 30-40 % в витамине В<sub>1</sub>, на 8 - 10 % в витамине В<sub>2</sub> и на 15-35 % в витамине Е [2, 16].

Для комбинирования с фаршем из мяса говядины и свинины использовали тыкву. Тыква - ценный диетический и лечебный продукт. По содержанию полезных веществ тыква превосходит многие другие овощи. В своем составе она содержит большое количество хорошо усвояемых белков, пектинов, углеводов, органических кислот, жиров, витаминов, минеральных веществ. Тыква богата пектином – от 2,6 % до 14,0 %, содержит белок от 0,5 % до 1,1 %, клетчатку - от 0,3 % до 1,2 %. Благодаря высокой степени развариваемости и малой волокнистости, тыква легко усваивается организмом. Уровень каротина колеблется от 16 мг до 17 мг, некоторые виды могут содержать от 35 мг до 38 мг. В тыкве

содержатся витамины: В<sub>1</sub> – 0,04-0,06 мг, В<sub>2</sub> – 0,03-0,06 мг, В<sub>6</sub> -0,11-0,13 мг, В<sub>9</sub> – 4-19 мкг. Тыква богата минеральными веществами: калием, магнием, медью, железом, кальцием и фосфором [3,16,17].

Для реализации поставленной цели были составлены образцы модельных фаршей, в рецептурах которых заменяли мясную часть на растительный компонент в количестве до 30 %. Подготовленные таким образом экспериментальные образцы оценивали по комплексу показателей в сравнении с контролем (с добавлением хлеба пшеничного). Замена пшеничного хлеба связана с возможностью разработки рецептур и расширением ассортимента мясных рубленых изделий для людей с заболеванием целиакия.

Результаты органолептической оценки мясорастительных фаршей из смеси говядины и свинины с добавлением тыквы представлены рисунке 4. Как видно из рисунка 4, максимальное количество баллов при оценке органолептических показателей отмечается у образца № 4.

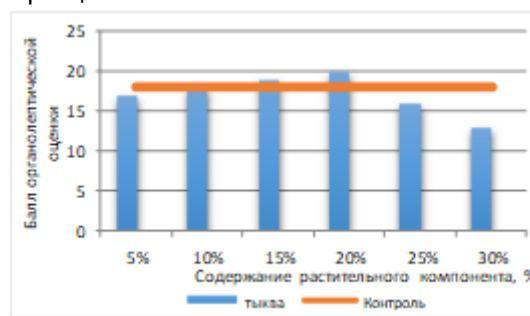


Рисунок 4 – Органолептическая оценка мясорастительных фаршей из смеси говядины и свинины с добавлением тыквы

Figure 4 – Organoleptic evaluation of minced meat from a mixture of beef and pork with the addition of pumpkin

По органолептическим показателям, стоит отметить, что замена мясной части на тыкву придает модельным фаршам мягкую, достаточно пластичную и однородную консистенцию. Образцы модельных фаршей № 3 и № 4 хорошо формируются и сохраняют форму. Внесение в фарш тыквы в количестве 25 % (образец № 5) и 30 % (образец № 6) приводит к изменению консистенции, выражающейся в липкости фаршевой смеси, что в дальнейшем усложнит процесс формирования рубленых изделий из такого фарша и отразится на потребительских свойствах готовых изделий. Все образцы фаршей по внешнему виду характеризуются как однородная, хорошо промешанная фаршевая система. У образца № 6 (30 % тык-

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФАРШЕВЫХ СИСТЕМ ИЗ СМЕСИ ГОВЯДИНЫ И СВИНИНЫ С РАСТИТЕЛЬНЫМ СЫРЬЕМ

вы) отмечаются видимые вкрапления тыквы.

Исследуемые образцы фаршевой системы имеют свойственный запах, характерный для входящих в рецептуру ингредиентов, без посторонних запахов. Наилучшие органолептические показатели фарша из смеси говядины и свинины отмечаются у образцов № 3 и № 4 с добавлением 15 % и 20 % тыквы. Данные образцы характеризуются хорошей способностью к формованию из них изделий.

С увеличением внесения тыквы в мясной

фарш из смеси говядины и свинины приводит к повышению массовой доли влаги фаршевой системы, что является закономерным. Массовая доля влаги фаршевой системы увеличивается на 2,5 % при максимальном внесении тыквы в количестве 30 % (70,8 %) в сравнении с контролем (68,3 %).

Зависимости ВУС, ВСС и pH от количества внесения тыквы в фарш из смеси говядины и свинины представлены на рисунке 5.

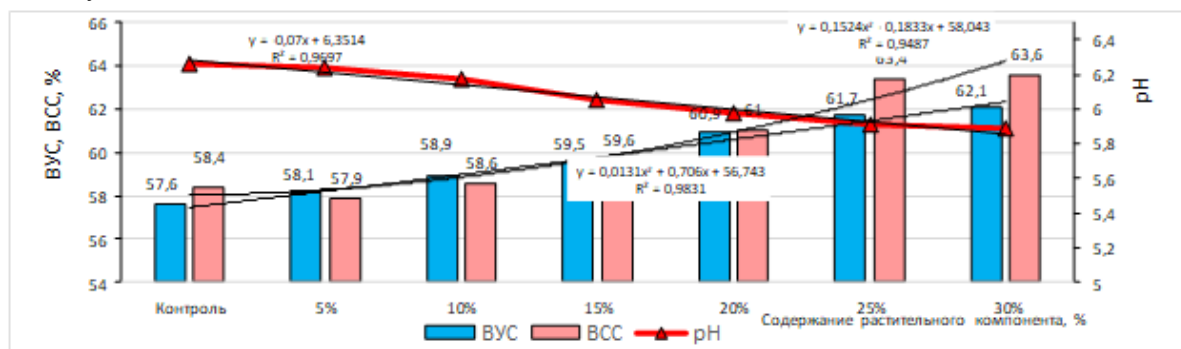


Рисунок 5 – Зависимость влагоудерживающей, влагосвязывающей способностей и pH мясорастительных фаршей от количества внесения тыквы

Figure 5 – Dependence of water binding capacity, water absorption capacity and pH of minced meat on the amount of pumpkin application

Анализ рисунка 5 показал, что добавление тыквы в мясной фарш приводит к увеличению влагоудерживающей и влагосвязывающей способности. Максимальное значение ВУС фаршевой системы достигается при добавлении 30 % (62,1 %).

При этом ВУС фаршевых систем увеличилась от 0,5 % до 4,5 % по сравнению с контрольным образцом (57,6 %), что объясняется способностью клетчатки и пектиновых веществ, содержащихся в тыкве к набуханию и удержанию влаги.

При добавлении тыквы установлено, что влагосвязывающая способность увеличивается на 5,2 % в сравнении с контрольным образцом, pH фаршевой системы снижается на 0,37 единиц.

Высокие значения влагоудерживающей и влагосвязывающей способности при внесении тыквы в фаршевую систему позволяет регулировать технологические свойства и получать в дальнейшем нежные, сочные изделия. На рисунке 6 приведена кривая изменения адгезии при различном количестве внесения тыквы.

Как следует из рисунка 6, адгезионные свойства модельных фаршей по мере увеличения доли тыквы неизменно возрастают. Рисунок 6 – Зависимость адгезии образцов модельных фаршей от количества

внесенной тыквы



Figure 6 - Dependence of adhesion of model minced meat samples on the amount of pumpkin introduced

Фарш по мере внесения тыквы (30 %) становится липким, плохо формируется, прилипает к рабочим поверхностям технологического оборудования.

При этом образцы от 5 % до 20 % имеют значения адгезии ниже, чем у контрольного образца (58 %).

### ВЫВОДЫ

Разработаны рецептурные композиции мясорастительного фарша на основе смеси говядины и свинины в сочетании с тыквой и проведена оценка качества фаршевых моделей в сравнении с контрольным образцом

(с добавлением хлеба пшеничного).

Установлено количество внесения растительного компонента (тыквы) в фаршевую систему на основе мяса говядины и свинины в количестве 20 %, обеспечивающей наилучшие органолептические и функционально-технологические свойства фаршевой системы. Таким образом, разработанные рецептуры фаршевой системы на основе мяса говядины и свинины в сочетании с тыквой можно использовать для приготовления разнообразных видов рубленых изделий с высокими потребительскими характеристиками и рекомендовать их при безглютеновой диете.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. González N., Marquès M., Nadal M., Domingo J. (2020). Meat consumption: Which are the current global risks? A review of recent (2010-2020) evidences. *Food Research International*, 137, 109620.
2. Martini S., Conte A., Tagliacucchi D. (2019). Comparative peptidomic profile and bioactivities of cooked beef, pork, chicken and turkey meat after in vitro gastro-intestinal digestion. *Journal of Proteomics*, 208, 103500.
3. Типсина Н.Н., Селезнева Г.К. Использование пюре из тыквы в пищевой промышленности // *Вестник КрасГАУ*. 2013. №12. С. 14.
4. Петрунина И.В., Осянин Д.Н. Перспективы развития производства мяса и мясных продуктов до 2030 года // *Все о мясе*. 2020. № 5S. С. 261-264. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-261-264>.
5. Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Бушуева И.С. Улучшение потребительских свойств мясных продуктов за счет биологически активных веществ // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2013. № 5. С. 32–33.
6. Вайтанис М.А., Ходырева З.Р. Использование конопляной муки при производстве мясных рубленых полуфабрикатов // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 1. С. 126–133. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-126-133.
7. Брошко Д.В., Величко Н.А., Рыгалова Е.А. Возможность использования порошка из ягодных выжимок костяники каменистой в рецептурах мясных рубленых полуфабрикатов // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 2. С. 177–182. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-177-182.
8. Величко Н.А., Пьянзина А.А. Разработка рецептуры и технологии мясного рубленого полуфабриката с растительным компонентом // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 3. С. 164–170. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-3-164-170.
9. Schetinin M., Vaytanis M., Musina O., Khodyreva Z. Technological and Nutritional Potential of Lentil in the Turkey Cutlets Production // *Intelligent Biotechnologies of Natural and Synthetic Biologically Active Substances*. ICAETT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. V. 408. P. 159-166. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96641-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96641-6_19).

10. Influence of the addition of different origin sources of protein on meat products sensory acceptance / Sol Zamuz, Laura Purriños, Fernando Galvez [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018. Vol. 43. Issue 5. P. 1-12. DOI 10.1111/jfpp.13940. URL: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jfpp.13940> (дата обращения: 09.09.2020).

11. ГОСТ 7975-2013. Тыква продовольственная свежая Технические условия. Введ. 2015.01.01. Москва: Стандартинформ, 2013. 6 с.

12. О безопасности пищевой продукции: Технический регламент таможенного союза № 021/2011: принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 880. Москва: Изд-во стандартов, 2011. 242 с.

13. О безопасности мяса и мясной продукции: Технический регламент таможенного союза 034/2013: принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 октября 2013 года N 68. Москва: Изд-во стандартов, 2013. - 56 с.

14. ГОСТ 33319-2015. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги. Введ. 2016.07.01. Москва: Стандартинформ, 2015. 6 с.

15. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. М.: Колос, 2001. 376 с.

16. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания: Справочник. М.: ДеЛипринт, 2002. 236 с.

17. De Escalada Pla M.F., Ponce N.M., Stortz C.A. et al. Composition and functional properties of enriched fiber products obtained from pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poirlet) // *LWT. Food Science and Technology*. 2007. V. 40, № 7. С. 1176–1185.

#### Информация об авторах

*М. А. Вайтанис – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; доцент кафедры «Рекреационной географии, сервиса, туризма и гостеприимства» Алтайского государственного университета.*

*З. Р. Ходырева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; доцент кафедры «Рекреационной географии, сервиса, туризма и гостеприимства» Алтайского государственного университета.*

#### REFERENCES

1. González, N. & Marquès, M. & Nadal,

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФАРШЕВЫХ СИСТЕМ ИЗ СМЕСИ ГОВЯДИНЫ И СВИНИНЫ С РАСТИТЕЛЬНЫМ СЫРЬЕМ

- M., & Domingo, J. (2020). Meat consumption: Which are the current global risks? A review of recent (2010-2020) evidences. *Food Research International*, 137, 109620.
2. Martini, S. & Conte, A., & Tagliazucchi, D. (2019). Comparative peptidomic profile and bioactivities of cooked beef, pork, chicken and turkey meat after in vitro gastro-intestinal digestion. *Journal of Proteomics*, 208, 103500.
3. Tipsina, N.N. & Selezneva, G.K. (2013). The use of pumpkin puree in the food industry // *Bulletin of KrasGAU*. No. 12. – p. 14. (In Russ.).
4. Petrunina, I.V. & Osyanin, D.N. (2020). Prospects for the development of meat and meat products production until 2030. *All about meat*. (5S), 261-264. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-261-264>. (In Russ.).
5. Gorlov, I.F., Slozhenkina, M.I. & Bushueva I.S. (2013). Improvement of consumer properties of meat products due to biologically active substances. *Storage and processing of agricultural raw materials*. (5), 32-33. (In Russ.).
6. Vaytanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2021). The use of hemp flour in the production of minced meat semi-finished products. *Bulletin of KrasGAU*. (1). 126-133. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-126-133. (In Russ.).
7. Brooch, D.V., Velichko, N.A. & Rygalova, E.A. (2020). The possibility of using powder from berry pomace of stony boneberry in recipes of minced meat semi-finished products. *Bulletin of KrasGAU*. (2), 177-182. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-177-182. (In Russ.).
8. Velichko, N.A. & Pyanzina, A.A. (2020). Development of the formulation and technology of minced meat semi-finished product with a vegetable component. *Bulletin of KrasGAU*. (3), 164-170. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-3-164-170.
9. Schetinin M. & Vaytanis M. & Musina O. & Khodyreva Z. (2022). Technological and Nutritional Potential of Lentil in the Turkey Cutlets Production. *Intelligent Biotechnologies of Natural and Synthetic Biologically Active Substances. ICAETT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*. (408). 159-166. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96641-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96641-6_19).
10. Sol, Zamuz, Laura, Purriños & Fernando, Galvez [et al.] (2018). Influence of the addition of different origin sources of protein on meat products sensory acceptance. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(5). 1-12. DOI 10.1111/jfpp.13940.
11. Pumpkin food fresh Specifications. Introduction. (2013). *HOST 7975-2013 from 01 January 2015*. Moscow: Standartinform, (In Russ.).
12. Technical regulations of the Customs Union. About food safety. (2011). *TRTS No.021/2011 from December 9, 2011*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
13. On the safety of meat and meat products. (2013). *TRTS No.034/2013 from October 9, 2013*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
14. Meat and meat products. Method for determining the mass fraction of moisture. Introduction. (2015). *HOST 33319-2015 from 01 July 2015*. Moscow: Standartinform, (In Russ.).
15. Antipova, L.V., Glotova, I.A. & Rogov, I.A. (2001). *Methods of research of meat and meat products*. Moscow: Kolos. (In Russ.).
16. Skurihin, I.M. & Tutel'yan, V.A. (2002). *Chemical composition of Russian food products: Handbook*. Moscow: DeLiprint. (In Russ.).
17. De, Escalada Pla, M.F., Ponce, N.M. Stortz, C.A. et al. (2007). Composition and functional properties of enriched fiber products obtained from pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiré). *LWT – Food Science and Technology*. 40(7). 1176–1185

### Information about the authors

M. A. Vaytanis – Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology of food products" Polzunov Altai State Technical University; associate Professor of the Department "Recreational geography, service, tourism and hospitality" of the Altai state University.

Z. R. Khodyreva – Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology of food products" Polzunov Altai State Technical University; associate Professor of the Department "Recreational geography, service, tourism and hospitality" of the Altai state University.

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*





Научная статья

05.18.04 Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств

УДК: 664.727.085

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.012



## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СУСПЕНЗИИ ПОДСОЛНЕЧНОГО ЖМЫХА И МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Сергей Константинович Волончук <sup>1</sup>, Ксения Николаевна Нициевская <sup>2</sup>,  
Светлана Владимировна Станкевич <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия

<sup>1</sup> volonchuk2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6697-8736>

<sup>2</sup> aksuta88@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7302-106X>

<sup>3</sup> svetictstank@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5157-2004>

**Аннотация.** От полноценного кормления животных, в частности крупного рогатого скота (КРС), зависит прирост его массы, продуктивность, состояние здоровья. Большую роль при этом играют кормовые добавки. Они повышают питательную ценность основного рациона, улучшают усвояемость его основных компонентов. В разработке новых кормовых добавок используют в качестве сырья отходы основных производств, которые относят к вторичным ресурсам. Это лузга, жмыхи, шроты, отруби, пивная дробина, сыворотка молочная и другие отходы. Они содержат белок, жиры, углеводы, минеральные вещества, клетчатку, витамины. Но нередко они находятся в отходах в трудноусвояемой форме и, следовательно, ценность их снижается. Повысить их усвояемость можно путем различных физических, механических воздействий. При этом основным постулатом в обосновании технологического процесса является, изложенное в работе А. Ю. Просекова, положение о том, что все виды механической и другие виды обработки сырья, связанные с приданием отдельным компонентам требуемой дисперсности или необходимых реологических свойств, не нарушают принципа суперпозиции в отношении исходных ингредиентов, биологически важных пищевых веществ. В статье приведены результаты исследования влияния ультразвуковой обработки смеси подсолнечного жмыха и молочной сыворотки в процессе получения кормовой добавки для кормления сельскохозяйственных животных, в частности КРС. Волновые колебания с частотами более 20000 колебаний в секунду (20 кГц) в ультразвуковом диапазоне длин волн обладают большой механической энергией, образуют кавитацию в среде, через которую они проходят, и вызывают изменения физических, химических и биологических показателей в объектах, на которые они направлены. При этом крупные частицы с размерами 1606...2722,5 мкм предварительно размолотого жмыха уменьшаются до 1453,6...123,8 мкм, образуется гелеобразная суспензия, содержащая белок, жир, клетчатку, сахара, витамины, необходимые животному, в более доступной для усвоения форме. Установлено, что содержание белка уменьшается в суспензии с 10,20 % до 6,65 % в соотношении компонентов, соответственно, от 1:4 до 1:8. Определены оптимальная температура  $60 \pm 5$  °С, время обработки 20 минут. Сущность ультразвуковой обработки заключается в том, что в результате такого воздействия на грубые или концентрированные корма, каким является жмых подсолнечника, разрушаются стенки растительных клеток, при этом питательные вещества, необходимые животному, переходят в более доступную форму. Под действием ультразвука происходит микробная инактивация, особенно это заметно при большем количестве сыворотки, т.к. в жидкой среде процесс кавитирования [3] идет интенсивнее.

**Ключевые слова:** жмых, сыворотка молочная, ультразвук, кавитация, суспензия, белок, кормовая добавка.

**Для цитирования:** Волончук С. К., Нициевская К. Н., Станкевич С. В. Обоснование технологических параметров получения белковых эмульсий из ядра семян подсолнечника // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 88 - 94. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.012. EDN: <https://elibrary.ru/onjhet>.

Original article

## EFFECT OF ULTRASONIC EXPOSURE ON BIOCHEMICAL COMPOSITION OF SUNFLOWER CAKE AND WHEY SUSPENSION

Sergej K. Volonchuk <sup>1</sup>, Kseniya N. Nicievskaya <sup>2</sup>, Svetlana V. Stankevich <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

<sup>1</sup> volonchuk2015@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-6697-8736>

<sup>2</sup> aksuta88@bk.ru

<sup>3</sup> sveticstank@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5157-2004>

**Abstract.** From the full feeding of animals, in particular cattle (cattle), depends on its weight gain, productivity, health status, feed additives play an important role in this, They increase the nutritional value of the main diet, improve the digestibility of its main components. In the development of new feed additives, waste from the main industries, which are classified as secondary resources, is used as raw materials. These are husks, cakes, meal, bran, beer pellets, milk whey and other waste. They contain protein, fats, carbohydrates, minerals, fiber, vitamins. But often they are in the waste in an indigestible form and, consequently, their value decreases. It is possible to increase their digestibility by various physical and mechanical influences. At the same time, the main postulate in the justification of the technological process is the provision stated in the work of A. Y. Prosekov that all types of mechanical and other types of processing of raw materials associated with giving individual components the required dispersion or the necessary rheological properties do not violate the principle of superposition with respect to the initial ingredients, biologically important food substances. The article presents the results of a study of the effect of ultrasonic treatment of a mixture of sunflower cake and whey in the process of obtaining a feed additive for feeding farm animals, in particular cattle. Wave vibrations with frequencies of more than 20,000 vibrations per second (20 kHz) in the ultrasonic wavelength range have high mechanical energy, form cavitation in the medium through which they pass, and cause changes in physical, chemical and biological parameters in the objects to which they are directed. At the same time, large particles with dimensions of 1606 ... 2722.5 microns of pre-ground cake are reduced to 1453.6 ... 123.8 microns, a gel-like suspension is formed containing protein, fat, fiber, sugars, vitamins necessary for the animal, in a form more accessible for assimilation. It was found that the protein content decreases in the suspension from 10.20% to 6.65% in the ratio of components, respectively, from 1:4 to 1:8. The optimal temperature of  $60 \pm 5$  °C, processing time of 20 minutes were determined. The essence of ultrasonic treatment lies in the fact that as a result of such an impact on coarse or concentrated feed, such as the sunflower cake, the walls of plant cells are destroyed, while the nutrients needed by the animal pass into a more accessible form. Under the influence of ultrasound, microbial inactivation occurs, this is especially noticeable with a larger amount of serum, since the cavitation [3] process is more intense in a liquid medium.

**Keywords:** cake, milk whey, ultrasound, cavitation, feed additive.

**For citation:** Volonchuk, S. K., Nicievskaya, K. N., & Stankevich, S. V. (2022). Effect of ultrasonic exposure on biochemical composition of sunflower cake and whey suspension. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 88-94. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.012.

### ВВЕДЕНИЕ

В современный рацион кормления сельскохозяйственных животных входит жмых подсолнечника, содержащий 4 - 10 % жира, 30 - 35% белка, 6 - 7 % минеральных веществ, витамины группы В и клетчатка. По аминокислотному составу и биологической

ценности белки жмыхов превосходят белки зерновых злаков: они содержат больше лизина, метионина, цистеина и триптофана. Жмых является вторичным продуктом при производстве растительного масла из семян подсолнечника [1,2,3]. Перед внесением в корма жмых размалывают. Такой корм нельзя долго хранить, т.к. в присутствии влаги

триглицериды жмыха под действием ферментов разлагаются на жирные кислоты и глицерин, которые окисляются грибами и бактериями и корм делается непригодным. Нужно учитывать также, что влажный жмых быстро закисает [2, 3, 4].

Для получения безопасной биологически ценной кормовой добавки необходимо провести соответствующую подготовку жмыха.

В Оренбургском ГАУ изучалось влияние ультразвуковой (кавитационной) обработки на химический состав, питательность и переваримость смеси жмыха и воды. При этом наблюдалось снижение сырого протеина – на 4,1 – 7,4 г (8,2 – 14,8 %), увеличение содержания сахаров на 18,8 – 25,0 %, а переваримость сухого вещества подсолнечного жмыха, превышала показатель натурального корма на 3,6 – 5,8 % [3, 4].

Анализируя другие литературные источники установлено, что ультразвуковое воздействие используется в получении целого ряда кормов и пищевых продуктов из различного сырья [5, 6, 7]. В связи с этим, нами был отобран метод ультразвукового воздействия на смесь жмыха и молочной сыворотки, которая является отходом при переработке молока на творог и сыр. При этом основным постулатом в обосновании метода является положение о том, что все виды механической и другие виды обработки сырья, связанные с приданием отдельным компонентам требуемой дисперсности или необходимых реологических свойств, не нарушают принципа суперпозиции в отношении исходных ингредиентов, биологически важных пищевых веществ [8]. Ценность молочной сыворотки в том, что кроме 94 % воды, она содержит лактозу, растворимые белки, липиды, минеральные соли, витамины. Повышая кормовую ценность смеси нужно учитывать, что срок хранения сыворотки не более двух суток при температуре 6 °С [9, 11].

Известно, что волновые колебания с частотами более 20000 колебаний в секунду (20 кГц) относятся к ультразвуковому диапазону длин волн. Волны создают кавитацию мелкими схлопывающимися пузырьками в среде, через которую они проходят, что вызывает изменение физических, химических и биологических показателей в объектах, на которые они направлены. За счет эффекта кавитации происходит улучшение физико-химических свойств исходного сырья, снижение содержания акриламида и извлечение ценного биоматериала из отходов пищевых производств. Важно так же и то, что генератор ультра-

звуковых волн и сами волны не вызывают токсичность готового продукта [6, 7].

Установлено, что при схлопывании пузырьков газа в доли секунды выделяется большое количество энергии. В результате в цитоплазме клеток микроорганизмов давление повышается до больших значений, порядка 10000 атм, которое разрывает оболочку клетки, вызывая её гибель. Этот эффект используется в медицине для стерилизации инструментов, а в последнее время и для стерилизации пищевых продуктов (молоко, фруктовые соки, вина) [7, 10].

**Целью работы** является изучение влияния ультразвукового воздействия на биохимический состав суспензии подсолнечного жмыха и молочной сыворотки для получения новой кормовой добавки.

## УСЛОВИЯ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа проводилась в отделе научных направлений исследований комплексной переработки растительного сырья СибНИТИП СФНЦА РАН в рамках выполнения поисковой НИР.

В процессе исследования использовались: подсолнечный жмых в форме пластин от ООО «ЗК Благо» (38 % протеина) и сыворотка молочная подсырная не соленая по ГОСТ 34352-2017 «Сыворотка молочная - сырье. Технические условия», являющаяся отходом производства сыра на ООО «Фабрика Фаворит» в Новосибирской области, Жмых предварительно размалывали.

Образцы смеси для ультразвукового облучения приготавливали из жмыха и сыворотки в трех пропорциях, для каждой пропорции готовили по три образца (табл. 1), каждый из которых подвергался ультразвуковому облучению с экспозицией 10, 20, 30 мин. Обработку проводили на установке «Ультразвуковой технологический аппарат «Волна» УЗТА-0,4/22-ОМ (рис.1).

Для ультразвукового облучения образцы смеси помещались в стеклянные банки объемом 0,5 л и облучение проводилось ультразвуковым излучателем, который погружался вертикально в центр емкости. Торец ультразвукового излучателя находился выше 0,5-1 см от дна емкости.

Режимы облучения для всех образцов:

- 1) Постоянные параметры:
  - частота ультразвука – 22 кГц;
  - мощность снимаемая с излучателя – 100 Вт;
  - напряжение в сети электропитания – 220 В.
- 2) Варьируемые параметры:
  - экспозиция облучения: 10, 20, 30 мин;

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СУСПЕНЗИИ ПОДСОЛНЕЧНОГО ЖМЫХА И МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

3) Регистрируемый зависимый параметр: температура смеси., измерялась в точках с интервалом 10 мин, включая исходную. При этом генератор ультразвука выключен в мо-

мент измерения. Для измерения температуры смеси использовался контактный мини-термометр стержневого типа (стик-термометр) Testo 905-T1.

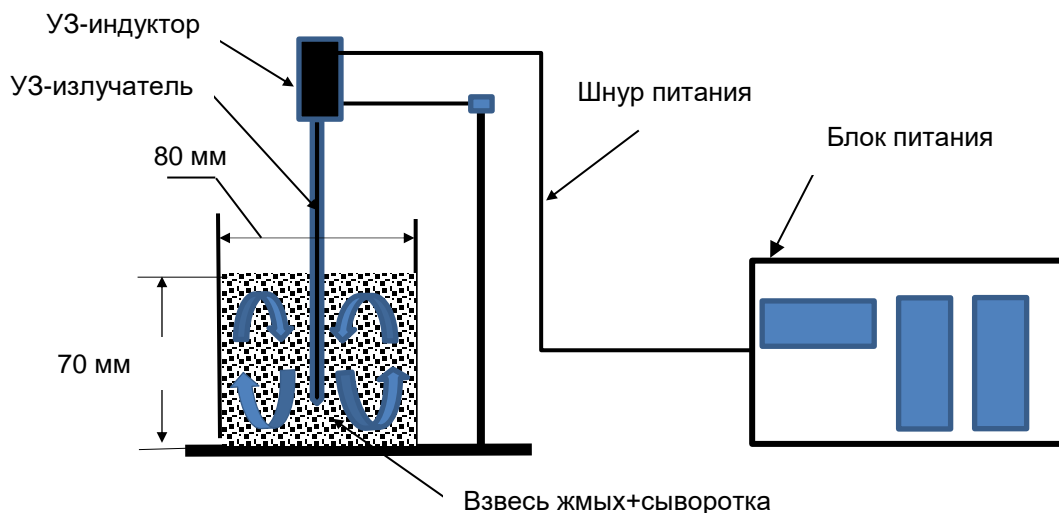


Рисунок 1 – Схема установки ультразвуковой обработки смесей жмыха с сывороткой  
Figure 1 – Scheme of installation of ultrasonic treatment of mixtures of cake with whey

Таблица 1 – Соотношение жмых / сыворотка  
Table 1 – The ratio of cake / whey

Соотношение жмых/сыворотка	Количество образцов	Состав смеси, г		Общая масса, г
		жмых	сыворотка	
1:4	3	50	200	250
1:6	3	50	300	350
1:8	3	40	320	360

Структуру жмыха и смеси изучали с помощью электронного микроскопа Carl Zeiss Stereo Discovery V8 (Германия) с камерой Axio Cam ICc 5 (Германия) и программным обеспечением ZEN.

Биохимический состав суспензии изучали в аналитической лаборатории отдела. Аминокислотный состав изучали с использованием прибора Капель 105-М №1679 с длиной волны 254 нм.

Микробиологические исследования проводили в лаборатории микологического и бактериологического анализа пищевых продуктов СФНЦА РАН. Микробиологические показатели исследовали 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)».

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выявлено уменьшение крупных частиц предварительно размолотого жмыха с размерами 1606...2722,5 мкм до 1453,6...123,8 мкм (рис. 2, 3). При этом смесь преобразовалась в гелеобразную гомогенную суспензию. Вследствие разрушения частиц питательные вещества, необходимые животному – протеин, жир, клетчатка и витамины перешли в более доступную для усвоения форму. Установлено, что содержание белка уменьшилось в суспензии с 10,20 % до 6,65 % в зависимости

от соотношения компонентов от 1:4 до 1:8. Определены оптимальная температура  $60 \pm 5^\circ\text{C}$  и время обработки 20 минут. При соотношении 1:8 температура смеси при всех временных значениях была ниже вследствие снижения вязкости образующейся суспензии. В таблице 2 представлен химический состав

вторичных сырьевых ресурсов. В таблице 3 представлено влияние ультразвуковой обработки на биохимические показатели суспензий. В таблице представлено влияние ультразвукового воздействия на аминокислотный состав суспензии.

Таблица 2 – Химический состав вторичных сырьевых ресурсов  
Table 2 – Chemical composition of secondary raw materials

Наименование показателей химического состава	Подсолнечный жмых	Подсырная сыворотка
Влажность, %	6,70	92,80
Белок, %	39,2	-
Жир (масло), %	6,79	0,50
Зола, %	4,89	-
Клетчатка, %	24,24	-
БЭВ, %	18,76	-
Минеральные вещества, %	-	0,396
Углеводы, %	-	3,55

Таблица 3 – Влияние ультразвуковой обработки на биохимические показатели суспензий  
Table 3 – The effect of ultrasonic treatment on the biochemical parameters of suspensions

Варианты опыта (соотношения смеси, продолжительность ультразвуковой обработки)	Показатели биохимического состава суспензий, %				
	Влажность	Жир	Белок	Зола	Клетчатка
1:4, 10 мин,	75.95	3.26	10.36	1.36	5.81
1:4, 20 мин	75.99	3.26	10.19	1.36	5.80
1:4, 30 мин	75.68	3.24	10.16	1.36	5.80
1:6, 10 мин	80.51	2.63	8.29	0.99	4.96
1:6, 20 мин	80.35	2.59	8.29	0.9	4.99
1:6, 30 мин	79.97	2.63	8.26	0.99	4.99
1:8, 10 мин	83.23	2.39	6.59	0.73	4.21
1:8, 20 мин	82.96	2.28	6.65	0.73	4.20
1:8, 30 мин	82.17	2.28	6.71	0.73	4.21

Из данных таблицы 3 видно, что содержание белка уменьшается в суспензии, полученной из смеси компонентов в соотношении от 1:4 до 1:8. Это объясняется уменьшением концентрации сухих веществ в единице объема суспензии. Некоторое снижение количе-

ства белка компенсируется структурой кормовой добавки, содержащей белок, жир, клетчатку, часть которой перешла в легкоусвояемые сахара, наиболее благоприятной для физиологии пищеварения жвачных животных.

Таблица 4 – Влияние ультразвукового воздействия на аминокислотный состав суспензии  
Table 4 – The effect of ultrasonic exposure on the amino acid composition of the suspension

Аминокислоты	Варианты опыта			
	Жмых подсолнечный (без обработки ультразвуком)	Жмых + сыворотка (1:4), обработка ультразвуком 10 мин	Жмых + сыворотка (1:4), обработка ультразвуком 20 мин	Жмых + сыворотка (1:4), обработка ультразвуком 30 мин
	1	2	3	4
Содержание, %				
Arg (аргинин)	1,74 ±0,70	0,88±0,35	1,29±0,52	1,37±0,55
Lys (лизин)	1,00±0,34	0,66±0,22	0,66±0,22	0,78±0,26
Tyr (тирозин)	0,37±0,12	0,41±0,12	0,39±0,12	0,51±0,15

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СУСПЕНЗИИ ПОДСОЛНЕЧНОГО ЖМЫХА И МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Продолжение таблицы 4 / Table 4 continued

Аминокислоты	1	2	3	4
Phe (фенилаланин)	1,21±0,36	0,75±0,23	0,75±0,23	0,82±0,25
His (гистидин)	0,19±0,09	0,38±0,19	0,37±0,19	0,44±0,22
Leu+Ile (лей-цин+изолейцин)	2,77±0,72	2,01±0,52	2,12±0,56	2,18±0,57
Met (метионин)	0,53±0,18	0,27±0,09	0,31±0,11	0,45±0,15
Val (валин)	0,13±0,05	0,83±0,33	0,89±0,35	0,94±0,37
Pro (пролин)	1,31±0,34	0,84±0,22	0,88±0,23	0,96±0,25
Thr (треонин)	1,01±0,40	0,67±0,27	0,70±0,28	0,78±0,31
Ser (серин)	1,33±0,35	0,85±0,22	0,83±0,22	0,92±0,24
Ala (аланин)	1,31±0,34	0,88±0,23	0,86±0,22	0,87±0,23
Gly (глицин)	1,69±0,57	1,03±0,35	1,00±0,35	1,17±0,40

Из данных таблицы 4 можно сделать вывод, что с увеличением продолжительности обработки наблюдается увеличение содержания аминокислот. Вероятно, это вызвано разрушением больших частиц жмыха в растворе молочной сыворотки, т.е. устранением присут-

ствующих от природы посторонних веществ. Ультразвук заметно влияет на структуру белков. Предполагается, что частичная инактивация в основном обусловлена влиянием свободных радикалов, образующихся в облучаемых ультразвуком растворах.

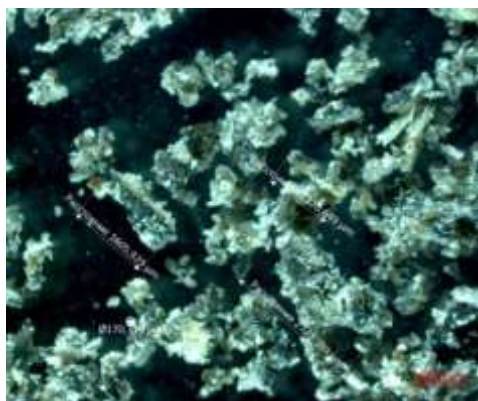


Рисунок 2 – Жмых сухой  
Figure 2 – Dry cake

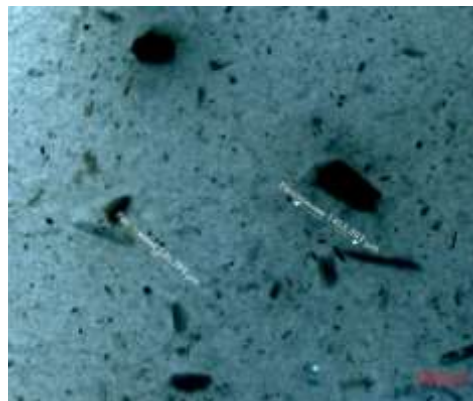


Рисунок 3 – Жмых в суспензии  
Figure – 3 Cake in suspension

В результате микробиологических исследований установлено, что ультразвуковая обработка смеси с соотношением компонентов 1:8 более благоприятна с точки зрения микробиологической безопасности полуфабриката, так как *E. Coli*, *S. Aureus*, *B. cereus* не обнаружены. Плесневые грибы не растут, дрожжи уменьшились с  $2,45 \times 10^2$  до  $1,54 \times 10$ . Выделенные плесневые грибы отнесены к родам *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, также были обнаружены анаэробные дрожжи. Выявленные актиномицеты, это группа грамм-положительных микроорганизмов являются антагонистами по отношению к бактериям и грибам. Необходимо отметить, что большинство из них сохраняют свою жизнеспособность в пределах 20-25 °С.

### ВЫВОДЫ

1. Доказана возможность использования ультразвука с частотой 20 кГц для получения кормовой добавки из вторичных сырьевых ресурсов, содержащей белки, жиры, углево-

ды, минеральные вещества, клетчатку

2. Сущность ультразвуковой обработки заключается в том, что в результате такого воздействия на грубые или концентрированные корма, каким является жмых подсолнечника, разрушаются крупные частицы жмыха, образуется гомогенная суспензия при этом питательные вещества, необходимые животному, переходят в более доступную форму.

3. Выявленное содержание микроорганизмов не влияет на порчу кормовой добавки, делая её безопасной.

4. Значимость работы – совершенствование теоретической базы в области формирования качественной кормовой продукции, полученной с использованием ультразвуковой обработки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспертиза кормов и кормовых добавок. / К.Я. Мотовилов, В.М. Позняковский, Н.Н. Ланцева и др. // Сибирское университетское из-во, Новосибирск, 2010. 343 с.
2. Байков А. С. Использование зернового сырья

и продуктов его переработки, подвергнутых кавитационному воздействию, в рационе молодняка крупного рогатого скота: дис. ...канд.техн. наук: 06.02.8 ; 06.02.10. Оренбург, 2020. 147 с.

3. Влияние ультразвуковой кавитационной обработки на химический состав кормов, используемых при кормлении жвачных животных, / А.С.Байков А.С., И.А. Рахимжанова, Н.М. Ширнина, Б.Х. Галиев. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. №5. С. 180-184. ISSN: 2073-0853

4. Влияние кавитационного воздействия на химический состав и переваримость сухого вещества грубых кормов используемых в животноводстве / Н.М. Ширнина, А.Ж. Балмугамбетова, Н.И. Рябов, Р.Ш. Картекенев [и др.] // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 3 (99). С. 134-139.

5. Новые подходы к созданию кормовых продуктов на основе поликомпонентных растительно- минеральных смесей, подвергнутых кавитационной обработке / С. А. Мирошников, Д. М. Муслюмова, А. В. Быков, Ш. Г. Рахматуллин, Л. А. Быкова // Вестник мясного скотоводства. 2012. № 3 (77) С. 7 – 11.

6. Физико-химические свойства и переваримость кормовых добавок, подвергнутых кавитационной обработке / И.С. Мирошников., Т.Н. Холодильна, Г.К. Дускаев // Вестник мясного скотоводства. 2016. № 4 (96). С. 131-135

7. Обзор последних тенденций ультразвуковой обработки в продовольственном сегменте / Ambadgatti Smriti, Patil Sonal, Dabade Ashish, SS Arya, Bhushette Pravin, K. Sonawane Sachin // Департамент пищевой инженерии и технологии, Институт химической технологии, NM Parekh Marg, Матунга, Мумбаи, Индия. DOI: 10.15414 / jmbfs.2020.10.1.1-4.

8. Просеков, А.Ю. Научные основы производства продуктов питания: Учебное пособие. Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2005. 234 с.

9. Химический состав и технологические свойства различных видов молочной сыворотки / И.В. Плотникова, Е.С. Шенцова, К.К. Полянский, Д.С. Писаревский // Сыроделие и маслоделие, 2020. № 3. С. 43-45. DOI 10.31515/2073-4018-2020-3-43-45.

10. Shah N.P. et al. Prospective utilization of valuable dairy by-product: whey //Annals Food Science and Technology. 2019.

11. Пат. № 2154386 Российская Федерация, Способ получения молочно растительной кормовой добавки / В.Е. Куцакова и [др.]; заявители и патентообладатели В.Е. Куцакова; Винаров Ю.И.; заявл.04.10.2012; опубл. 20.07.2014. 5 с.

#### Информация об авторах

С. К. Волончук – Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, РАН, младший научный сотрудник, к.т.н., проф. РАЕ.

К. Н. Ницевская – Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, РАН, ведущий научный сотрудник, к.т.н.

С. В. Станкевич, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, научный сотрудник, к.с-х.н.

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

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.

#### REFERENCES

1. Motovilov, K.Ya., Poznyakovskiy, V.M., Lantseva, N.N. & etc. (2010). *Examination of feed and feed additives*. Siberian University Publishing House, Novosibirsk. (In Russ.).

2. Baykov, A. S. (2020). The use of grain raw materials and products of its processing subjected to cavitation in the diet of young cattle. Candidate's thesis. Orenburg (In Russ.).

3. Baykov, A.S., Rakhimzhanova, I.A., Shirmina, N.M. & Galiev, B.H. (2017). The effect of ultrasonic cavitation treatment on the chemical composition of feed used in feeding ruminants. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2017. No.5. pp. 180-184. ISSN: 2073-0853

4. Shirmina, N.M., Balmugambetova, A.J., Ryabov, N.I., Kartekenov, R.S. & [et al.] (2017). The effect of cavitation on the chemical composition and digestibility of dry matter of coarse feed used in animal husbandry. *Bulletin of meat cattle breeding*. 3 (99). 134-139. (In Russ.).

5. Miroshnikov, S. A. Muslyumova, D. M. Bykov, A.V. Rakhmatullin, Sh. G. & Bykova L. A. (2012). New approaches to the creation of feed products based on multicomponent plant-mineral mixtures subjected to cavitation treatment. *Bulletin of beef cattle breeding*. 3(77), 7-11. (In Russ.).

6. Miroshnikov, I.S., Kholodilina, T.N. & Duskaev, G.K. (2016). Physico-chemical properties and digestibility of feed additives subjected to cavitation treatment. *Bulletin of meat cattle breeding*.4 (96). 131-135. (In Russ.).

7. Ambadgatti, Smriti, Patil, Sonal, Dabade, Ashish, S.S., Arya, Bhushette, Pravin, K. & Sonawane, Sachin. (2020). *Review of the latest trends in ultrasonic processing in the food segment*. Department of Food Engineering and Technology, Institute of Chemical Technology, NM Parekh Marg, Matunga, Mumbai, India. DOI: 10.15414 / jmbfs.2020.10.1.1-4.

8. Prosekov, A.Yu. (2005). Scientific bases of food production: A textbook. Kemerovo : Kemerovo Technological Institute of Food Industry. (In Russ.).

9. Plotnikova, I.V. Shentsova, E.S. Polyansky, K.K. Pisarevsky D.S. (2020). Chemical composition and technological properties of various types of whey. *Cheese-making and butter-making*. (3). 43-45. – DOI 10.31515/2073-4018-2020-3-43-45. (In Russ.).

10. Shah, N.P. & et al. (2019). Prospective utilization of valuable dairy by-product: whey. *Annals Food Science and Technology*.

11. Kutsakova, V.E. & Vinarov, Yu.I. (2014). Method of obtaining a dairy plant feed additive. Pat. 2154386. *Russian Federation publ. of 20.07.2014*. (In Russ.).

#### Information about the authors

S. K. Volonchuk – Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies, RAS, Junior researcher, Candidate of Technical Sciences, Prof. RAЕ.

K. N. Nitievskaya – Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies, RAS, Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

S. V. Stankevich – Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.



Научная статья

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

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.013



## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ДЕФРОСТАЦИИ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ НА КАЧЕСТВО ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Светлана Ивановна Конева <sup>1</sup>, Александра Сергеевна Захарова <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup>skoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

<sup>2</sup> zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>

**Аннотация.** Проведены исследования по изучению условий дефростации тестовых полуфабрикатов, приготовленных из многокомпонентных смесей, в состав которых, помимо муки пшеничной, включены продукты переработки льна и овсяные хлопья. Показано, что условия дефростации теста с использованием электромагнитного поля СВЧ и дефростация при температуре 20 - 25 °С в условиях цеха наиболее благоприятны по сравнению с дефростацией в условиях расстойного шкафа при температуре 35 °С, относительной влажности воздуха 80-85 %, что подтверждается лучшими органолептическими и физико-химическими показателями качества опытных образцов. Для снижения негативного воздействия низких температур, вызывающих денатурацию и дезагрегацию белков, гибель дрожжевых клеток вследствие образования кристаллов льда, предложено использование льняной муки. Доказана эффективность использования льняной муки, входящей в состав многокомпонентной смеси, в качестве криопротектора. Установлено, что слизи льняной муки, обладающие высокими влагоудерживающими характеристиками, препятствуют разрушению клейковинного каркаса теста, уменьшению ферментативной активности дрожжевых клеток и снижению формоудерживающей способности готовых изделий, что значительно сокращает негативный эффект процессов замораживания – дефростации теста, приводит к минимальным потерям качества хлеба из многокомпонентной смеси.

**Ключевые слова:** многокомпонентные смеси, замороженные тестовые полуфабрикаты, льняная мука, криопротекторы, дефростация, качество хлеба.

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (тема № 075-00316-20-01, FZMMM-2020-0013, мнемокод 0611-2020-013).

---

**Для цитирования:** Конева С.И., Захарова А.С. Влияние условий дефростации замороженных полуфабрикатов из многокомпонентных смесей на качество готовых изделий // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 95 – 100. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.013. EDN: <https://elibrary.ru/klivad>.

---



Original article

## EFFECT OF THAWING CONDITIONS OF FROZEN SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM MULTICOMPONENT MIXTURES ABOUT THE QUALITY OF FINISHED PRODUCTS

Svetlana I. Koneva <sup>1</sup>, Alexandra S. Zakharova <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup>skoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

<sup>2</sup> zakharovatpz@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>

**Abstract.** *Studies have been conducted to study the conditions of defrosting of test semi-finished products prepared from multicomponent mixtures, which, in addition to wheat flour, include flax processing products and oat flakes. It is shown that the conditions of defrosting of the test using the microwave electromagnetic field and defrosting at a temperature of 20-25 °C in the workshop conditions are most favorable compared with defrosting in the proofing cabinet at a temperature of 35 °C, relative humidity of 80-85 %, which is confirmed by the best organoleptic and physico-chemical indicators of the quality of prototypes. To reduce the negative effects of low temperatures that cause denaturation and disaggregation of proteins, the death of yeast cells due to the formation of ice crystals, the use of flaxseed flour is proposed. The effectiveness of using flaxseed flour, which is part of a multicomponent mixture, as a cryoprotector has been proven. It has been established that linseed flour slime, which has high moisture-retaining characteristics, prevents the destruction of the gluten framework of the dough, reduces the enzymatic activity of yeast cells and reduces the form-retaining ability of finished products, which significantly reduces the negative effect of the freezing - defrosting processes of the dough, leads to minimal quality losses of bread from a multicomponent mixture.*

**Keywords:** *multicomponent mixtures, frozen dough semi-finished products, flaxseed flour, cryoprotectors, defrosting, bread quality.*

**Acknowledgements:** *The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (topic No. 075-00316-20-01, FZMMM-2020-0013, mnemocode 0611-2020-013).*

**For citation:** Koneva, S. I. & Zakharova, A. S. (2022). Effect of thawing conditions of frozen semi-finished products from multicomponent mixtures about the quality of finished products. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 95-100. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.013. (In Russ.).

### ВВЕДЕНИЕ

Хлебобулочные изделия, традиционно занимающие значительную нишу в структуре питания населения Российской Федерации, являются объектами для обогащения их биологически активными компонентами, что позволяет расширить ассортимент и повысить пищевую ценность этой группы изделий. Для обеспечения потребителей свежеспеченными, вкусными и полезными хлебобулочными изделиями интенсивно развиваются современные технологии, одной из которых является технология «отложенной выпечки», в основе которой лежит принцип прерывания длительного процесса приготовления хлебобулочных изделий путем замораживания мучных полуфабрикатов разной степени готовности, хранения их установленное время в замороженном состоянии, а непосредственно перед реализацией потребителю,

дефростация и выпекание. Такая гибкая технология находит применение на хлебопекарных предприятиях малой мощности и в сегменте HoReCa.

Преимущества данной технологии очевидны, позволяют упростить организацию производства и рабочего времени, управлять заказами и расширять ассортимент, быстро регулировать качество изделий при одновременном сокращении затрат на хранение и транспортировку готовой продукции [1].

Однако, помимо явных преимуществ данной технологии, у производителей возникает ряд технологических трудностей. Процесс замораживания ведет к негативным изменениям основных структурных компонентов теста – белковых веществ и углеводов, разрушает дрожжевые клетки, что приводит к ухудшению реологических свойств теста,

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ДЕФРОСТАЦИИ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ НА КАЧЕСТВО ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

снижению газообразующей и газодерживающей способности. Основным фактором, обеспечивающим формоудерживающую способность выпеченных изделий, является прочность и эластичность клейковинного каркаса теста, снижающаяся в замороженных полуфабрикатах из-за денатурации и дезагрегации белков, вызванной образованием кристаллов льда. Для замораживания теста используются как шоковые, так и бытовые морозильные камеры. Деформация клейковинного каркаса теста может происходить в результате как слишком быстрого, так и слишком медленного снижения температуры теста. В первом случае, слишком быстрая заморозка приводит к образованию большого количества микрокристаллов льда, которые при хранении в результате созревания Оствальда преобразуются в крупные фрагменты. Слишком медленное снижение температуры вызывает образование крупных кристаллов, повреждающих клейковинный каркас. И в том и в другом случае происходит ухудшение упруго-эластичных свойств теста [2].

Под воздействием низких температур снижается ферментативная активность дрожжей. Образующиеся кристаллы льда в тесте повреждают молекулярную структуру дрожжевых клеток, вызывающих их гибель, как результат этого процесса снижается газообразующая способность теста. Еще одним отрицательным моментом замораживания является потеря влаги.

Таким образом, основными причинами ухудшения свойств замороженного и дефростированного теста, являются потеря влаги и образование кристаллов льда. Для снижения негативного воздействия низких температур необходимо введение криопротекторов - веществ, способных регулировать состояние воды в системе, снижать разрушительное действие кристаллов льда в пищевом матриксе, контролировать сохранение функциональных свойств белковых веществ и дрожжевых клеток [2].

Известно использование в качестве криопротекторов влагоудерживающих систем, основным компонентом которых является пектин. Благодаря способности снижать перекристаллизацию льда при хранении продуктов в замороженном состоянии пектин предотвращает повреждение мембран дрожжевых клеток, сохраняет их жизнеспособность [2]. Некоторые исследователи использовали в качестве криопротекторов нетрадиционные виды муки и улучшители, содержащие влагоудерживающие компоненты, регулирующие долю связанной влаги при хранении замороженного теста, что

обеспечивает достаточное количество свободной влаги для гидратации клейковины и формирования клейковинного каркаса [3, 4, 5].

В составе многокомпонентной смеси, используемой для приготовления теста в проводимых исследованиях, присутствует льняная мука, являющаяся не только ингредиентом повышенной пищевой ценности за счет высокого содержания эссенциальных линоленовой и линолевой кислот, витаминов группы В, токоферолов, являющихся антиоксидантами, минеральных веществ. Белки льняной муки представлены водорастворимой, солерастворимой и щелочерастворимой фракциями, имеют высокую биологическую ценность, обладают сбалансированным аминокислотным составом и по содержанию таких незаменимых аминокислот, как валин, метионин, лейцин, цистеин, триптофан, треонин и фенилаланин не уступают «идеальному» белку [6].

Ценной составляющей льняной муки являются углеводы, состоящие из моносахаридов, олигосахаридов и полисахаридов (клетчатки, гемицеллюлозы и пектиновых веществ).

Особенностью водорастворимой фракции полисахаридов льняной муки является наличие сложных соединений моносахаридов и альдобиноновой кислоты - слизи. Слизь льняной муки легко растворяется в холодной воде, образует вязкие растворы при небольших концентрациях, способных не только хорошо впитывать влагу, но и какое-то время её удерживать [7].

Полисахариды льняной муки представляют практический интерес, могут выступать в качестве водоудерживающих агентов и связующих элементов в производстве хлебобулочных изделий. Исследование реологических характеристик теста из мучных смесей с содержанием льняной муки показало, что с увеличением доли льняной муки возрастала водопоглотительная способность, увеличилось время замеса, закономерно повышалось время стабильности теста [8].

Таким образом, можно предположить, что льняная мука как влагоудерживающий агент, контролирующей активность воды, окажет криопротекторное действие на полуфабрикаты «отложенной выпечки» в цикле замораживание - размораживание.

Целью представленной работы являлось определение влияния условий дефростации замороженных полуфабрикатов из многокомпонентных смесей на качество готовых изделий. Для достижения поставленной цели было исследовано криопротекторное влияние

льняной муки, входящей в состав многокомпонентной смеси и условий размораживания тестовых полуфабрикатов на органолептические и физико-химические показатели качества хлеба.

### МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ

В качестве объектов исследования использовали тесто и хлеб, приготовленные из многокомпонентной смеси. Многокомпонентную смесь получали путем смешивания пшеничной 1 сорта, хлопьев овсяных, муки льняной и семян льна. Рецептúra многокомпонентной смеси представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Ингредиенты многокомпонентной смеси

Figure 1 - Ingredients of a multicomponent mixture

Ранее проведенными исследованиями были получены результаты, подтверждающие высокое качество и пищевую ценность хлеба из анализируемой многокомпонентной смеси [9, 10, 11].

Тесто замешивали из всех рецептурных компонентов безопасным способом. Дозировку дрожжей увеличивали до 3% к массе смеси. Температура теста после замеса составляла 25 °С. Сразу же после замеса проводили формование тестовых заготовок и подвергали их замораживанию бытовым способом (-18-20 °С). После хранения тестовых заготовок в замороженном состоянии в течение 24 часов проводили дефростацию, расстойку и выпечку образцов. Дефростацию замороженных тестовых полуфабрикатов проводили при трех режимах:

- в условиях производства при температуре 20-25°С, относительной влажности воздуха не более 75% - образец 1;
- в расстойном шкафу при температуре 35°С и относительной влажности 85% (совмещали стадии дефростации и расстойки) – образец 2;
- в электромагнитном поле СВЧ - образец 3.

Оценку влияния способов дефростации определяли по качеству выпеченных опытных образцов. Показатели качества выпеченного и охлажденного хлеба изучали по стандартным методикам. Определение органолептических показателей проводили по ГОСТ 5667-65. Влажность мякиша хлеба определяли по ГОСТ 21094-75, кислотность мякиша – по ГОСТ 5670-96, пористость мякиша – по ГОСТ 5669-96, удельный объем хлеба – по методике, описанной в ГОСТ 27669-88.

Для расчета группового комплексного показателя, характеризующего идентификационные органолептические характеристики качества хлеба, использовали методику, разработанную в МГУПП [12, 13].

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью программы Microsoft Excel XP 2010.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали отличия в качестве выпеченных образцов в зависимости от способа дефростации замороженного теста. Основными дефектами качества хлеба из замороженных полуфабрикатов являются:

- снижение объема и ухудшение характера пористости мякиша в результате торможения ферментативной активности дрожжей;
- отшелушивание корки изделий вследствие обезвоживания и перераспределения влаги в результате заморозки теста;
- уплотнение мякиша, как следствие деформации структуры губчатого клейковинного каркаса теста.

Наличие льняной муки в составе многокомпонентной смеси позволило смягчить негативные факторы и получить изделия хорошего качества.

Физико-химические показатели качества опытных образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели качества опытных образцов

Table 1 – Physico-chemical displays of prototypes

Показатель	Значение		
	образец 1	образец 2	образец 3
1	2	3	4
Влажность мякиша, %	46,0 + 0,71	45,0 ± 0,71	46,0 ± 0,71
Кислотность мякиша, град	3,5 ± 0,36	4,0 ± 0,36	3,0 ± 0,36
Пористость мякиша, %	63,0 ± 1,0	59,0 ± 1,0	64,0 ± 1,0
Удельный объем, см <sup>3</sup> /г	2,35 ± 0,2	1,9 ± 0,2	2,45 ± 0,2

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ДЕФРОСТАЦИИ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ НА КАЧЕСТВО ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Установлено, что у образца № 2, процесс размораживания которого был совмещен с процессом расстойки, отмечалось снижение влажности мякиша хлеба на 1,0 % по сравнению с другими образцами. Накопление более высокой кислотности мякиша (4 градуса) обусловлено длительным нахождением тестовых заготовок в условиях повышенной влажности и температуры в расстойном шкафу, вызвавшем слишком активное молочнокислое брожение и накопление продуктов жизнедеятельности. Ослабление клейковинного каркаса теста в условиях повышенных температур привело к снижению удельного объема хлеба на 20-22 %. Отмеченные недостатки не проявились у образца № 2, и особенно у образца № 3, что свидетельствует об эффективности процесса дефростации в электромагнитном поле СВЧ. Очевидно, быстрое размораживание теста в меньшей степени приводит к дезагрегации клейковины и снижению активности дрожжевых клеток, обуславливающих газообразующую способность.

По органолептической оценке образцы № 1 и № 3 отличались хорошими показателями, обладали выпуклой корочкой коричневого цвета, хорошо развитой пористостью, эластичным мякишем. Худшие органолептические показатели отмечены у образца № 2 – наличие плоской, неровной корочки, неравномерной пористости, недостаточно эластичного мякиша (рисунок 2).

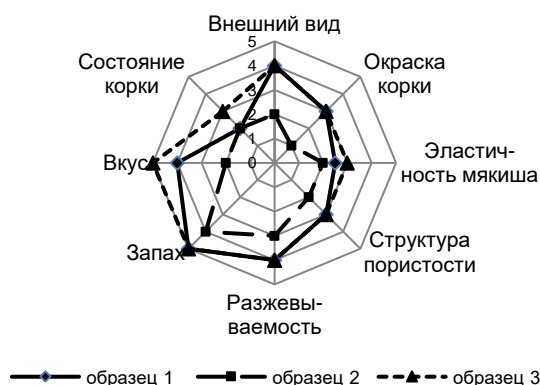


Рисунок 2 – Органолептические показатели опытных образцов

Figure 2 – Organoleptic parameters of experimental samples

Наивысший балл комплексной оценки, учитывающей органолептические и физико-химические показатели качества изделий (рисунок 3), получил образец № 3 (59 баллов), немного ниже оценен образец № 1 (55,5 баллов).

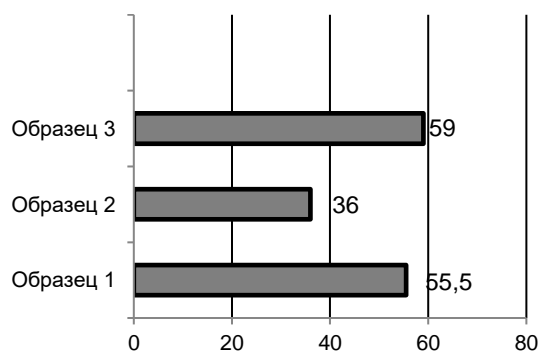


Рисунок 3 – Комплексный показатель качества опытных образцов

Figure 3 – A comprehensive indicator of the quality of prototypes

### ВЫВОДЫ

Показано, что условия размораживания теста с использованием электромагнитного поля СВЧ наиболее благоприятны по сравнению с дефростацией при температуре 20 – 25 °С и в условиях расстойного шкафа при температуре 35 °С и относительной влажности воздуха 80 – 85 %, что подтверждается лучшими органолептическими и физико-химическими показателями качества опытных образцов. Проведены исследования по изучению криопротекторных свойств льняной муки, входящей в состав многокомпонентной смеси. Установлено, что слизи льняной муки, обладающие высокими влагоудерживающими характеристиками, значительно снижают негативный эффект процессов замораживания – дефростации теста, что приводит к минимальным потерям качества хлеба из мучной многокомпонентной смеси, содержащей в своем составе льняную муку.

Авторы благодарят за финансовую поддержку Минобрнауки РФ (тема № 075-00316-20-01, FZMMM-2020-0013, мнемокод 0611-2020-013).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кульп К., Лоренц К. // Производство изделий из замороженного теста. СПб: Профессия, 2005. 285 с.
- Кенийз Н. В., Сокол Н.В. Разработка технологии хлебобулочных полуфабрикатов с применением криопротектора // Новые технологии. 2013. № 1. С. 19-24.
- Тырлова О.Ю., Барсукова Н.В. Разработка промышленной технологии замороженных полуфабрикатов на основе льняной муки // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 3. С. 43 – 52.
- Ермош Л.Г. Сравнительная оценка воздействия хлебопекарных улучшителей на качество замороженных хлебобулочных изделий / Вестник КрасГАУ. 2015. №2 С. 101 – 107.
- Егорова Е.Ю., Кузьмина С.С., Захарова

А.С. Повышение пищевой ценности слоеных изделий из замороженного теста // Ползуновский вестник. 2020. № 1. С. 8 – 12.

6. Миневи́ч И.Э., Осипова Л.Л., Цыганова Т.Б. Использование семян льна и льняной муки в технологии мучных кондитерских изделий // Хлебопечение России. 2018. №3. С. 38-41.

7. Миневи́ч И.Э., Осипова Л.Л. Гидроколлоиды семян льна: характеристика и перспективы использования в пищевых технологиях // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2017. № 3. С. 16–25.

8. Цыганова Т.Б., Миневи́ч И.Э., Осипова Л.Л. Полисахариды семян льна: практическое применение // ХИПС. 2019. №2, с.24 - 36.

9. Конева С.И., Кымысова Е.В. Пищевая ценность хлебобулочных изделий с добавлением продуктов переработки льна и овса // В сборнике: Технология и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2018 С. 493 – 498.

10. Захарова А.С., Конева С.И. Актуальность использования льняной муки и смеси круп при производстве хлебобулочных изделий // Ползуновский вестник. 2016. № 3. С. 31 – 34.

11. Конева С.И. Особенности использования продуктов переработки семян льна при производстве хлебобулочных изделий // Ползуновский вестник. 2016. № 3. С. 35 – 38.

12. Пучкова Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: ГИОРД. 2004. 264 с.

13. Корячкина С.Я., Березина Е.В. // Методы исследования качества хлебобулочных изделий: учебно-методическое пособие для вузов. Орел: ОрелГТУ, 2010. 166 с.

### Информация об авторах

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

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

### REFERENCES

1. Kulp, K. & Lorenz, K. (2005). Production of frozen dough products. St. Petersburg: Professia (In Russ.).

2. Kenyiz, N. V. & Sokol, N.V. (2013). Development of technology of bakery semi-finished products with the use of cryoprotector. *New technologies*. (1). 19-24. (In Russ.).

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*

3. Tyrlova, O.Yu. & Barsukova, N.V. (2014). Development of industrial technology of frozen semi-finished products based on flaxseed flour. *Scientific Journal of NIU ITMO. The series "Processes and devices of food production"*. (3). 43 – 52. (In Russ.).

4. Yermosh, L.G. (2015). Comparative assessment of the impact of baking improvers on the quality of frozen bakery products. *Bulletin of KrasGAU*. (2), 101 - 107. (In Russ.).

5. Egorova, E.Yu., Kuzmina, S.S. & Zarova A.S. (2020). Increasing the nutritional value of puff pastry from frozen dough. *Polzunovskiy vestnik*. (1), 8-12. (In Russ.).

6. Minevich, I.E., Osipova, L.L. & Tsyganova, T.B. (2018). The use of flax seeds and flax flour in the technology of flour confectionery products. *Bakery of Russia*. (3), 38-41. (In Russ.).

7. Minevich, I.E. & Osipova, L.L. (2017). Hydrocolloids of flax seeds: characteristics and prospects of use in food technologies. *Scientific Journal of NIU ITMO. Series: Processes and devices of food production*. (3). 16-25. (In Russ.).

8. Tsyganova, T.B., Minevich, I.E. & Osipova L.L. (2019). Polysaccharides of flax seeds: practical application. (2), 24-36. (In Russ.).

9. Koneva, S.I. & Kymysova E.V. (2018). Nutritional value of bakery products with the addition of flax and oat processing products. *In the collection: Technology and equipment of the chemical, biotechnological and food industries. Materials of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference of students, post-graduates and Young scientists with international participation*. 493 – 498. (In Russ.).

10. Zakharova, A.S. & Koneva S.I. (2016). The actuality of using flax flour and a mixture of cereals in the production of bakery products. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 31-34. (In Russ.).

11. Koneva, S.I. (2016). Features of the use of flax seed processing products in the production of bakery products. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 35 – 38. (In Russ.).

12. Puchkova, L.I. (2004). *Laboratory workshop on bakery production technology*. 4th ed., reprint. and additional. St. Petersburg: GIORД. (In Russ.).

13. Koryachkina, S.Ya. & Berezina, E.V. (2010). *Methods of researching the quality of bakery products: an educational and methodological guide*. Orel: OrelGTU. (In Russ.).

### Information about the authors

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

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



Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 641.1/3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.014

 EDN: TRVDBG

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ С ИЗГОТОВЛЕНИЕМ КОНДИТЕРСКОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА НА ЕЕ ОСНОВЕ

Трофимова Анастасия Алексеевна<sup>1</sup>, Попов Владимир Григорьевич<sup>2</sup>,  
Неверов Владислав Юрьевич<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>1</sup> anastasia-9726@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0037-2739>

<sup>2</sup> popovvg@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5902-1768>

<sup>3</sup> neverovvj@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7094-1469>

**Аннотация.** В настоящее время разработка продуктов функционального назначения приобретает приоритетное направление для исследований пищевых продуктов и систем. Это связано, в первую очередь с необходимостью поддержания здоровья человека на высоком уровне. Кондитерские изделия являются высококалорийным продуктом с относительно бедным нутриентным составом, тем не менее, уровень потребления изделий данной группы товаров всегда был высоким. В связи с этим, актуальным направлением представляется обогащение кондитерских изделий добавками функционального назначения. В настоящей статье представлены результаты моделирования рецептуры комплексной пищевой добавки (КПД) на основе меда цветочного, содержащей так же прополис, плоды калины, плоды черной смородины, листья зверобоя и листья элеутерококка. Разработана технологическая схема изготовления комплексного пищевого продукта, изготовлен кондитерский продукт с использованием комплексной пищевой добавки (КПД). Для изготовленного функционального продукта определялись органолептические, физико-химические показатели, показатели безопасности и химический состав, а также проведены медико-биологические исследования на крысах, подтверждающие иммуномодулирующий эффект от употребления изготовленного функционального продукта.

**Ключевые слова:** комплексная пищевая добавка, функциональный пищевой продукт, мед цветочный, прополис, плоды калины, плоды черной смородины, листья зверобоя, листья элеутерококка, моделирование рецептуры, технологическая схема.

**Благодарности:** автор выражает признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования.

---

**Для цитирования:** Трофимова А. А., Попов В. Г., Неверов В. Ю. Разработка технологии изготовления комплексной пищевой добавки с изготовлением кондитерского функционального продукта на ее основе // Ползуновский вестник. 2022. № 3 . С. 101 – 107. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.014, EDN: <https://elibrary.ru/trvdbg>.

---

Original article

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF A COMPLEX FOOD ADDITIVE WITH THE PRODUCTION OF A FUNCTIONAL CONFECTIONERY PRODUCT BASED ON IT

Anastasia A. Trofimova<sup>1</sup>, Vladimir G. Popov<sup>2</sup>, Vladislav Y. Neverov<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Industrial University of Tyumen, Russia

<sup>1</sup> anastasia-9726@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0037-2739>

<sup>2</sup> popovvg@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5902-1768>

<sup>3</sup> neverovvj@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7094-1469>

**Abstract.** At present, the development of functional products is becoming a priority direction for the research of food products and systems. This is primarily due to the need to maintain human health at a high level. Confectionery is a high-calorie product with a relatively poor nutrient content, however, the level of consumption of products of this group of goods has always been high. In this regard, the enrichment of confectionery products with functional additives seems to be an urgent direction. This article presents the results of modeling the formulation of a complex food additive (KPD) based on flower honey, which also contains propolis, viburnum fruits, black currant fruits, St. John's wort leaves and eleutherococcus leaves. A technological scheme for the production of a complex food product has been developed, a confectionery product has been manufactured using a complex food additive (efficiency). For the manufactured functional product, organoleptic, physico-chemical indicators, safety indicators and chemical composition were determined, as well as biomedical studies on rats were conducted, confirming the immunomodulatory effect of the use of the manufactured functional product.

**Keywords:** complex food additive, functional food product, flower honey, propolis, viburnum fruits, black currant fruits, St. John's wort leaves, eleutherococcus leaves, formulation modeling, technological scheme.

**Acknowledgements:** the author expresses gratitude to his / her colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.

**For citation:** A. A. Trofimova, V. G. Popov & V. Y. Neverov. (2022). Development of technology for the production of a complex food additive with the production of a functional confectionery product based on it. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 101-107. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.014.

### ВВЕДЕНИЕ

Современные общемировые тенденции в области технологии продуктов питания направлены на реализацию государственной политики и касаются поддержания здорового образа жизни и обеспечения населения качественными и безопасными продуктами, которые сегодня все чаще содержат в своем составе компоненты функциональной направленности. К таким требованиям в настоящее время относятся не только повышенная пищевая, но и биологическая ценность, которая характеризует продукт с точки зрения полноценности его состава по содержанию витаминов, минеральных веществ, волокон и других нутриентов.

Пищевые продукты, обогащенные компонентами с высокой биологической ценностью, в современной науке называют функциональными. Перспективным направлением является изготовление продуктов питания

функциональной направленности на основе кондитерских изделий, так как данная группа товаров является высококалорийной и считается крайне несбалансированной по микронутриентному составу. Учитывая, что кондитерские изделия пользуются стабильно высоким спросом у взрослых и детей, то можно считать, их роль в питании стабильно высокой.

Поэтому целью данной работы являлась разработка функциональных кондитерских изделий, обогащенных комплексной пищевой добавкой на основе меда и продуктов пчеловодства.

### ОБЪЕКТЫ ИСЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были: мёд цветочный, прополис, плоды черной смородины, плоды калины, листья зверобоя и элеутерококка, комплексная пищевая добавка (КПД), полученная на их основе, а также функ-

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ С ИЗГОТОВЛЕНИЕМ КОНДИТЕРСКОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА НА ЕЕ ОСНОВЕ

циональный пищевой продукт – зефир, обогащенный комплексной пищевой добавкой.

### МЕТОДЫ

Функциональный пищевой продукт исследовали на соответствие по ГОСТ 6441-2014. Изделия кондитерские пастильные. Общие технические условия. По ГОСТ 5897 проводили определение органолептических показателей, по ГОСТ 5900 – массовой доли влаги, по ГОСТ 5901 - массовой доли золы, по ГОСТ 26811 - определение массовой доли общей сернистой кислоты, по ГОСТ 5902- определение плотности. Определение микробиологической безопасности и содержание токсичных элементов устанавливали по стандартным методикам. Определение массовой доли сахара по ГОСТ 5903-89. Определение жира расчетным методом. Определение энергетической ценности согласно ТР ТС 022/2011 «Продукция в части её маркировки».

Определение содержания аскорбиновой кислоты в сырье и готовых кондитерских изделиях определяли методом обратного амперометрического титрования по ГОСТ 7047-55.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

На первом этапе экспериментальных исследований осуществлялся выбор раститель-

Таблица 1 - Коэффициенты, отражающие расчетное содержание витаминов и минеральных веществ, для разработанных рецептур

Table 1 - Coefficients reflecting the estimated content of vitamins and minerals for the developed recipes

Рецептура	Содержание витаминов			Содержание минеральных веществ			
	A	C	β-каротин	Fe	Se	Zn	Mg
1	1,0316	16,776	0,065	0,9446	0,05	0,4545	7,238
2	1,2228	19,451	0,078	1,0928	0,06	0,4545	7,898
3	1,5722	23,816	0,092	1,2377	0,07	0,3073	8,322
4	0,99	16,462	0,041	0,9015	0,03	0,275	5,79
5	1,181	18,881	0,054	1,0708	0,04	0,3859	6,637

Относительная величина содержания витаминов и минералов определялась отношением количественной характеристики этих компонентов проектируемой рецептуры (одной из пяти) к эталонному содержанию. Как показали результаты математического моделирования, наибольшее количество витами-

ного сырья для составления смеси КПД. Внешение в рецептуру КПД цветочного меда обосновывается содержанием в нем дубильных веществ, эфирных масел, флавоноидов и др. Плоды черной смородины вносились в рецептуру проектируемой добавки с целью обогащения ее каротинами, пектинами, антоцианами. Плоды калины, отличающиеся высоким содержанием дубильных веществ, содержат в своем составе высшие жирные кислоты: миристиновую, пальмитиновую, стеариновую, олеиновую и другие. Листья зверобоя содержат алкалоиды, а листья элеутерококка пектиновые вещества, стеринны, гликозиды, жирные масла и другие ценные вещества.

На следующем этапе исследований осуществлялась разработка рецептуры КПД методом математического моделирования с помощью критерия Пирсона. Для выбора оптимального соотношения компонентов, входящих в состав проектируемой пищевой добавки, было разработано 5 рецептур с варьированием количеств того или иного компонента. Коэффициенты, отражающие расчетное содержание витаминов и минеральных веществ для разработанных рецептур представлены в таблице 1.

нов и минеральных веществ, которое может содержать КПД, определено в рецептуре 3.

Также разработанные рецептуры были подвергнуты органолептической оценке. Результаты органолептической оценки указанных рецептур приведены в таблице 2

Таблица 2 – Оценка органолептических показателей проектируемых рецептур комплексной пищевой добавки

Table 2 - Evaluation of organoleptic indicators of the designed formulations of a complex food additive

Рецептура	Показатели					
	Вкус	Цвет	Запах	Консистенция	Сумма	Среднее значение
1	5,0	4,4	4,6	5,0	19	4,75
2	4,8	4,6	4,7	5,0	19,1	4,775
3	5,0	5,0	4,8	5,0	19,8	4,95
4	5,0	4,8	4,7	5,0	19,5	4,875
5	5,0	4,7	4,6	5,0	19,3	4,825



Из данных таблицы 2 видно, что по органолептическим показателям наиболее приемлемой является также рецептура 3. Таким образом рецептура 3 была использована для изготовления порошкообразного кон-

центра комплексной пищевой добавки и приведена в таблице 3. На рисунке 1 изображена технологическая схема изготовления порошкообразного концентрата комплексной пищевой добавки.

Таблица 3 – Рецептура комплексной пищевой добавки

Table 3 - Formulation of a complex food additive

Компонент	Содержание компонента, г	Содержание, мг							
		A	C	E	$\beta$ -каротин	Fe	Se	Zn	Mg
Мед цветочный	3	0,012	0,015	0,003	0	0,102	0	0,207	0,9
Прополис	3	0,0072	0,0009	0,0051	0	0,0147	0	0,0261	0,54
Плоды черной смородины	8	1,36	16	0,0056	0,008	1,04	0	0,0104	2,48
Плоды калины	7	0,175	6,3	0,14	0,084	0,021	0,007	0,035	3,99
Листья зверобоя	2	0,006	0,46	0,08	0	0,018	0	0,018	0,32
Листья элеутерококка	2	0,012	1,04	0,1442	0	0,042	0	0,0108	0,092
Итого	25	1,5722	23,815	0,3779	0,092	1,24	0,007	0,3073	8,32

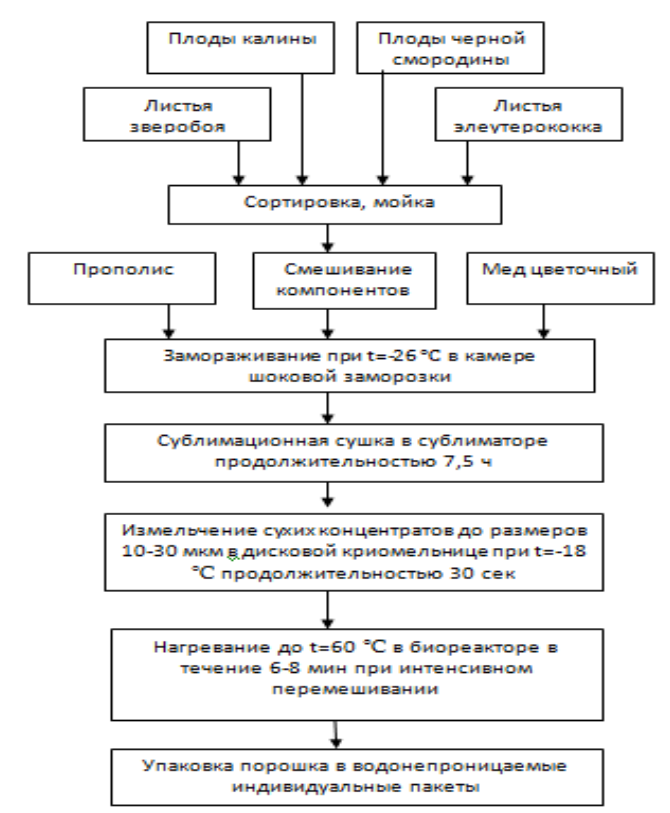


Рисунок 1 - Технологическая схема изготовления комплексной пищевой добавки

Figure 1 - Technological scheme for the manufacture of a complex food additive

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ С ИЗГОТОВЛЕНИЕМ КОНДИТЕРСКОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА НА ЕЕ ОСНОВЕ

В дальнейшем осуществлялось изготовление кондитерского пастильного изделия – зефира с добавлением изготовленной комплексной пищевой добавки.

КПД вносилась на стадии замачивания сухого яичного белка при приготовлении сбивной массы зефира. Приготовленную сбивную массу использовали в дальнейшем технологическом процессе.

Зефир, приготовленный с внесением КПД, был назван «Сладкий иммунитет» и подвержен исследованию органолептических характеристик.

На рисунке 2 приведена профилограмма органолептической оценки изготовленного продукта.

Из данных рисунка видно, что кондитерское изделие зефир «Сладкий иммунитет» обладает высокими балльными оценками по всем органолептическим показателям (все они выше 4 баллов).

Зефир, изготовленный с использованием КПД «Сладкий иммунитет» содержал в своем составе (%): белка – 16,6, углеводов – 36,19, жира – 0,92. Энергетическая ценность кондитерского изделия составляла 199 ккал/100 г продукта.

Физико-химические показатели зефира, изготовленного с использованием КПД «Сладкий иммунитет» приведены в таблице 4.

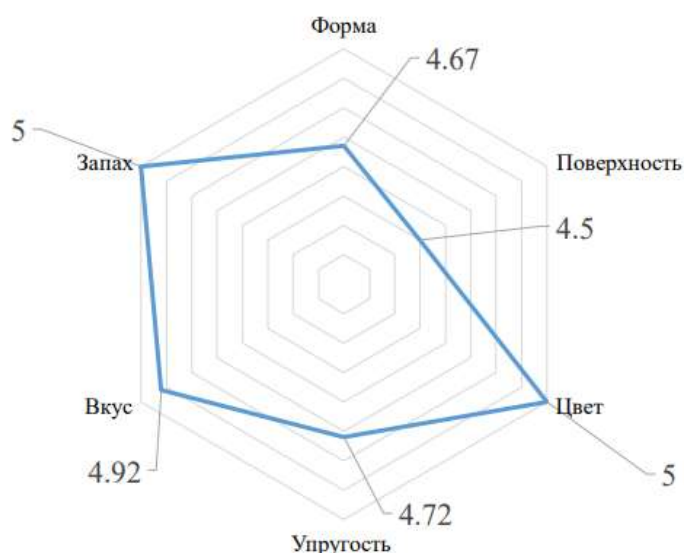


Рисунок 2 - Профилограмма органолептической оценки зефира «Сладкий иммунитет»

Figure 2 - Profilogram of the organoleptic evaluation of marshmallow "Sweet Immunity"

Таблица 4 – Физико-химические показатели зефира «Сладкий иммунитет»

Table 4 - Physical and chemical parameters of marshmallow "Sweet Immunity"

Показатель	Содержание, %
Массовая доля влаги	25
Массовая доля фруктового сырья	11
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,6
Массовая доля общей сернистой кислоты	0,007
Массовая доля бензойной кислоты	0,05
Массовая доля золы, нерастворимой в растворе соляной кислоты с массовой долей 10 %	0,045

Из данных таблицы 4 видно, что внесение комплексной пищевой добавки не влияет на физико-химические показатели готового продукта, и позволяет выпускать этот продукт по тому же стандарту.

Для установления показателей безопасности необходимо установить микробиологические показатели и содержание токсичных элементов. Данные исследования показали, что показатели безопасности разработанного

продукта не превышают регламентированных техническим регламентом допустимых значений (ТР ТС 021/2011).

Для установления функциональных свойств продукта было определено содержание аскорбиновой кислоты (витамина С), которое было на уровне 16 мг на 1 грамм исследуемого продукта, что подтверждает высокое его содержание в анализируемом продукте.

В процессе работы были проведены медико-биологические исследования функцио-

нальных свойств спроектированного продукта. Суть исследований заключалась в проведении опытных работ на крысах. Зверей делили на две группы, одну из них кормили 20 г функционального продукта на протяжении 30 дней. Вторая группа была контрольной.

В таблице 5 приведены результаты анализа крови крыс, входящих в опытную и контрольную группы.

Таблица 5 – Показатели крови опытной и контрольной групп крыс  
Table 5 - Blood parameters of the experimental and control groups of rats

Показатели крови	Контрольная группа	Опытная группа
Клинические		
Гемоглобин, г/л	120	148
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л	3,5	5,8
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л	4,9	4,5
Биохимические		
Са, моль/л	2,0	2,2
К, моль/л	5,2	6,0
Альбумин-глобулиновый коэффициент	0,3	0,7

Данные, приведенные в таблице 5, свидетельствуют о повышении иммунного статуса опытной группы крыс, в отличие от контрольной, в рацион которой не входил функциональный продукт.

В дальнейшем другой группе крыс вводили зефир функционального назначения и

через 15 дней заставляли их плавать в воде, наблюдения продолжали в течение 60 дней. Контрольной группе крыс зефир функционального назначения не вводился.

В таблице 6 приведены данные о длительности плавания крыс, адаптирующихся к холоду для контрольной и опытной групп.

Таблица 6 - Данные о длительности плавания крыс, адаптирующихся к холоду для контрольной и опытной групп

Table 6 - Data on the duration of swimming of rats adapting to cold for the control and experimental groups

Продолжительность эксперимента, сут	Время плавания опытной группы крыс, мин	Время плавания контрольной группы крыс, мин
15	119	110
30	144	121
45	163	120
60	172	120,5

Данные таблицы 6 показывают, что употребление зефира функционального назначения увеличивало время плавания крыс во все дни эксперимента.

Результаты этих исследований позволяют заключить, что разработанный продукт обладает функциональными свойствами и может считаться продуктом с повышенным содержанием витамина С, и обладающим иммуномодулирующим действием. Авторами работы планируется продолжить проведение исследований в данном направлении с целью проведения медико-биологических исследований на людях.

## ВЫВОДЫ

В настоящей работе:

1) Обоснован компонентный состав комплексной пищевой добавки (КПД), а также описаны исследования по установлению содержания компонентов рецептуры;

2) Разработана технологическая схема изготовления комплексной пищевой добавки (КПД);

3) Изучены органолептические, физико-химические показатели, показатели безопасности и химический состав кондитерского изделия функционального назначения – зефира «Сладкий иммунитет».

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ С ИЗГОТОВЛЕНИЕМ КОНДИТЕРСКОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА НА ЕЕ ОСНОВЕ

4) Определено влияние функционального пищевого продукта на организм крыс в ходе проведения медико-биологических исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатырев А. Н., Макеева И. А. Проблемы и перспективы в производстве натуральных продуктов питания // Пищевая промышленность. 2014. № 21. С. 8–10.
2. Долматова, И. А., Латыпова С. Ш. Продукты функционального назначения в питании населения // Молодой ученый. 2016. № 7 (111). С. 63-65.
3. Дубцова Е.А. Состав, биологические свойства меда, пыльцы и маточного молочка и возможность их применения в лечебном питании // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2009. № 3 С.36-38.
4. Котова Н.И., Морозова Ю.П. Предпочтения потребителей к упаковке из саморазлагающихся материалов // Пищевая промышленность. 2013. №8, С. 60-61.
5. Кочеткова, А.А. Колеснов А. Ю. Современная теория позитивного питания и функциональные продукты // Пищевая промышленность. 1999. № 4. С. 7–10.
6. Минделл, Э. Справочник по витаминам и минеральным веществам. Москва: Медицина и питание, 2000. С. 320.
7. Effectiveness of honey for symptomatic relief in upper respiratory tract infections: a systematic review and meta-analysis. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32817011>. (Дата обращения 20.03.2022).
8. Composition and functional properties of propolis (bee glue): A review. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31762646>. (Дата обращения 20.03.2022).
9. Propolis: A Complex Natural Product with a Plethora of Biological Activities That Can Be Explored for Drug Development. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26106433>. (Дата обращения 20.03.2022).
10. Honey and Health: A Review of Recent Clinical Research. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5424551>. (Дата обращения 20.03.2022).

### Информация об авторах

А. А. Трофимова – магистр кафедры «Товароведения и технологии продуктов питания» Тюменского индустриального университета.

В. Г. Попов – доктор технических наук, заведующий кафедры «Товароведения и техноло-

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

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.

гии продуктов питания» Тюменского индустриального университета.

В. Ю. Неверов – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Товароведения и технологии продуктов питания» Тюменского индустриального университета.

### REFERENCES

1. Bogatyrev A. N. & Makeeva I. A. (2014) Problems and prospects in the production of natural food. *Food industry*. (21), 8-10. (In Russ.).
2. Dolmatova, I. A. & Latypova S. S. (2016) Functional products in the nutrition of the population. *A young scientist*. 7 (111), 63-65. (In Russ.).
3. Dubtsova E.A. (2009) Composition, biological properties of honey, pollen and royal jelly and the possibility of their use in therapeutic nutrition. *Experimental and clinical gastroenterology*. (3), 36-38. (In Russ.).
4. Kotova N.I., Morozova Yu.P. (2013) Consumer preferences for packaging from self-decomposing materials. *Food industry*. (8), 60-61. (In Russ.).
5. Kochetkova, A.A. Kolesnov A. Yu. (1999) Modern theory of positive nutrition and functional products. *Food industry*, (4), 7-10. (In Russ.).
6. Mindell, E. (2000) *Handbook of vitamins and minerals*. Moscow: Medicine and nutrition. (In Russ.).
7. Effectiveness of honey for symptomatic relief in upper respiratory tract infections: a systematic review and meta-analysis. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32817011>. (In Russ.).
8. Composition and functional properties of propolis (bee glue): Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31762646>. (In Russ.).
9. Propolis: A Complex Natural Product with a Plethora of Biological Activities That Can Be Explored for Drug Development Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26106433>. (In Russ.).
10. Honey and Health: A Review of Recent Clinical Research Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5424551>. (In Russ.).

### Information about the authors

A. A. Trofimova – master's degree holder of Commodity Science and Food technology Department, Tyumen Industrial University.

V. G. Popov, doctor of technical Sciences, Head of Commodity Science and Food technology Department, Tyumen Industrial University.

V. Y. Neverov – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of Commodity Science and the Food technology Department, Tyumen Industrial University.



Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК: 641.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.015



## ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ПЕРСПЕКТИВНЫХ И РАЙОНИРОВАННЫХ В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ СОРТОВ КРЫЖОВНИКА

Ольга Викторовна Чугунова<sup>1</sup>, Антон Владимирович Вяткин<sup>2</sup>,  
Александр Валерьевич Арисов<sup>3</sup>, Елена Михайловна Чеботок<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия

<sup>4</sup> Структурное подразделение ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН «Свердловская селекционная станция садоводства», г. Екатеринбург, Российская Федерация

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

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

<sup>3</sup> arisov\_av@usue.ru <https://orcid.org/0000-0002-8005-1697>

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

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования десяти сортов перспективных и районированных в Свердловской области ягод крыжовника. Значения антиоксидантной активности у сортов, районированных в Свердловской области, находятся в диапазоне от  $4,726 \pm 0,014$  до  $17,945 \pm 0,054$  ммоль/дм<sup>3</sup> экв (наибольшее значение у сорта «Лунная ночь», наименьшее значение у сорта «Берилл»); у перспективных сортов – в диапазоне от  $6,370 \pm 0,019$  до  $9,552 \pm 0,029$  ммоль/дм<sup>3</sup> экв (наибольшее значение у сорта «I-7-21», наименьшее «II-12-4»). При этом, содержание флавоноидов в ягодах крыжовника, находится в диапазоне от  $326,428 \pm 0,979$  до  $919,584 \pm 2,759$  мг/100 г съедобной части (наибольшее значение у сорта «Северянин», наименьшее у сорта «Берилл»), у сортов, районированных в Свердловской области; у перспективных сортов - в диапазоне от  $292,182 \pm 0,877$  до  $489,488 \pm 1,468$  мг/100 г съедобной части (наибольшее значение у сорта «I-7-21», наименьшее у сорта «II-12-4»). Содержание фенольных веществ в ягодах крыжовника, находится в диапазоне от  $163,722 \pm 0,491$  до  $621,666 \pm 1,865$  мг галловой кислоты/100 г съедобной части (наибольшее значение у сорта «Лунная ночь», наименьшее у сорта «Берилл»), у сортов, районированных в Свердловской области; у перспективных сортов - в диапазоне от  $220,675 \pm 0,662$  до  $330,908 \pm 0,993$  мг галловой кислоты/100 г съедобной части (наибольшее значение у сорта «I-7-21», наименьшее у сорта «II-12-4»). А также, содержание антоцианов в ягодах крыжовника, находится в диапазоне от  $129,821 \pm 0,389$  до  $692,941 \pm 2,079$  мг цианидин-3-гликозида/100 г съедобной части (наибольшее значение у сорта «Лунная ночь», наименьшее у сорта «Берилл»), у сортов, районированных в Свердловской области; у перспективных сортов - в диапазоне от  $174,981 \pm 0,525$  до  $262,389 \pm 0,787$  мг цианидин-3-гликозида/100 г съедобной части (наибольшее значение у сорта «I-7-21», наименьшее у сорта «II-12-4»). Кроме того, были исследованы такие потребительские характеристики ягод, как содержание общих и редуцирующих сахаров, а также кислотность. Полученные данные позволят более корректно рассчитывать пищевую ценность рационов и обоснованно выбирать тот или иной сорт при диетической коррекции рациона с целью повышения общей антиоксидантной активности.

**Ключевые слова:** плодово-ягодное сырье, антиоксидантная активность, пищевые системы, переработка и хранение.

**Для цитирования:** Исследование антиоксидантного комплекса перспективных и районированных в Свердловской области сортов крыжовника / О. В. Чугунова [и др.] // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 108 – 116. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.015. EDN: <https://elibrary.ru/kzspsg>.

Original article

## RESEARCH OF THE ANTIOXIDANT COMPLEX OF PROMISING AND REGIONAL VARIETIES OF GOSEBERRY IN THE SVERDLOVSK REGION

Olga V. Chugunova<sup>1</sup>, Anton V. Vyatkin<sup>2</sup>, Aleksandr V. Arisov<sup>3</sup>,  
Elena M. Chebotok<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russian Federation

<sup>4</sup> Structural subdivision of the Federal State Budget Scientific Institution Urfa Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences "Sverdlovsk Selection Station for Horticulture", Yekaterinburg, Russian Federation

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

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

<sup>3</sup> arisov\_av@usue.ru <https://orcid.org/0000-0002-8005-1697>

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

**Abstract.** The article presents the results of a study of 10 varieties of promising and zoned gooseberries in the Sverdlovsk region. The values of antioxidant activity in varieties released in the Sverdlovsk region are in the range from  $4.726 \pm 0.014$  to  $17.945 \pm 0.054$  mmol/dm<sup>3</sup> eq (the highest value for the variety "Moon Night", the lowest value for the variety "Berill"); in promising varieties - in the range from  $6.370 \pm 0.019$  to  $9.552 \pm 0.029$  mmol/dm<sup>3</sup> eq (the highest value in the variety "I-7-21", the smallest "II-12-4"). At the same time, the content of flavonoids in gooseberries is in the range from  $326.428 \pm 0.979$  to  $919.584 \pm 2.759$  mg / 100 g of the edible part (the highest value in the variety "Severyanin", the lowest in the variety "Berill"), in varieties, district- ionized in the Sverdlovsk region; in promising varieties - in the range from  $292.182 \pm 0.877$  to  $489.488 \pm 1.468$  mg / 100 g of the edible part (the highest value for the variety "I-7-21", the smallest for the variety "II-12-4"). The content of phenolic substances in gooseberries ranges from  $163.722 \pm 0.491$  to  $621.666 \pm 1.865$  mg of gallic acid / 100 g of edible part (the highest value is in the Lunar Night variety, the lowest in the Beryl variety), in varieties zoned in Sverdlovsk areas; in promising varieties - in the range from  $220.675 \pm 0.662$  to  $330.908 \pm 0.993$  mg of gallic acid / 100 g of the edible part (the highest value for the variety "I-7-21", the smallest for the variety "II-12-4"). And also, the content of anthocyanins in gooseberries ranges from  $129.821 \pm 0.389$  to  $692.941 \pm 2.079$  mg of cyanidin-3-glycoside / 100 g of the edible part (the highest value is in the Lunar Night variety, the lowest in the Beryl variety), in varieties released in the Sverdlovsk region; in promising varieties - in the range from  $174.981 \pm 0.525$  to  $262.389 \pm 0.787$  mg of cyanidin-3-glycoside / 100 g of the edible part (the highest value for the variety "I-7-21", the smallest for the variety "II-12-4"). In addition, such consumer characteristics of berries as the content of total and reducing sugars, as well as acidity, were studied. The data obtained will make it possible to more correctly calculate the nutritional value of diets and reasonably choose one or another variety for dietary correction of the diet in order to increase the overall antioxidant activity.

**Keywords:** fruit and berry raw materials, antioxidant activity, food systems, processing and storage.

---

**For citation:** Chugunova, O. V., Vyatkin, A. V., Arisov, A. V. & Chebotok, E. M. (2022). Research of the antioxidant complex of promising and regional varieties of goseberry in the Sverdlovsk region. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 108-116. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.015. (In Russ.).

---

### ВВЕДЕНИЕ

Сбалансированное и полезное питание должно включать потребления плодов, ягод и продуктов их переработки, представляющих собой ценные источники различных полезных веществ, таких как витамины, антиоксиданты, макро- и микроэлементы. При этом, потребление плодов и ягод на душу населения не удовлетворяет минимальную норму потреб-

*POLZUNOVSKIY VESTNIK № 3 2022*

ления в 91 кг составляет лишь 53 кг, малая часть которых, а именно 14,8 кг, являются отечественного производства. В связи с этим, развитие садоводства, как одной из наиболее значимых и перспективных отраслей агропромышленного комплекса Российской Федерации, является актуальным, а рациональное использование и переработка плодов и ягод, направленная на максимальное сохранение

полезных веществ в них содержащихся, необходимым.

Среди всего многообразия биологически активных веществ плодов и ягод, необходимых для осуществления метаболических процессов, синтеза и построения клеток в человеческом организме, можно выделить значительное содержание витаминов, полифенолов, органических кислот, пищевых волокон, а также макро- и микроэлементов. Особенности химического состава позволяют формировать и изменять органолептические характеристики плодово-ягодного сырья при изготовлении продуктов питания по средствам современных технологических операций, методов и технологий, направленных на создание специальных условий и подбора режимов, способствующих минимальному изменению химического состава, что в свою очередь позволяет максимально сохранить содержащиеся в плодово-ягодном сырье биологически активные вещества и обуславливает применение данного вида сырья в различных отраслях пищевой промышленности, в том числе консервной, кондитерской и винодельческой.

Перспективность использования плодов крыжовника обуславливается гипотензивными, капилляроукрепляющими и противосклеротическими свойствами, связанными с высоким содержанием биологически активных веществ различной природы, среди кото-

рых особо можно выделить макро- и микроэлементы (содержание мг/100 г: Na – 26,5±2,3; K – 395,0±23,0; Ca – 37,1±1,9; Mg – 24,5±1,6; Fe – 0,38±0,03; Cu – 0,05±0,01)[1], пищевые волокна (содержание, мг/100 г: нерастворимые – 1,56±0,07; растворимые – 1,18±0,09)[1] и витамины (витамин С, мг/100 г съедобной части – 27,57±1,22; витамин В<sub>1</sub>, мг/100 г съедобной части – 0,021±0,001; витамин В<sub>2</sub>, мг/100 г съедобной части – 0,008±0,001; витамин Е мг ТЭ/100 г съедобной части – 1,14±0,13) [4, 7].

Целью работы является исследование общей антиоксидантной активности десяти перспективных и районированных в Свердловской области сортов крыжовника, исследование содержания отдельных веществ антиоксидантов, а также исследование таких потребительских характеристик как содержание сахаров и кислотность.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследуемые десять перспективных и районированных в Свердловской области сортов крыжовника, урожая 2021 года, представлены структурным подразделением ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН Свердловской селекционной станцией садоводства. Описание данных сортов крыжовника представлено в таблице (табл. 1), включая массу плодов, значения плодоношения и сроки созревания.

Таблица 1 – Описание исследуемых сортов крыжовника

Table 1 - Description of the studied gooseberry

Наименование сорта	Масса плода, г		Плодоношение, кг/куст		Срок созревания
	min	max	main	max	
<b>Сорта, районированные в Свердловской области</b>					
«Демидовский»	3,6	7,9	4,5	5,5	Ранний
«Уральский виноград»	4,0	5,0	5,0	7,0	Ранний
«Берилл»	3,9	9,2	3,1	10,0	Средний
«Лунная ночь»	4,0	7,0	3,0	4,0	Средний
«Северянин»	5,0	5,5	3,0	4,0	Поздний
<b>Перспективные сорта</b>					
«I-7-2-17-05»	3,0	5,0	5,0	5,5	Ранний
«I-8-7»	3,8	6,0	5,0	5,5	Средний
«II-7-7,8-сер»	4,0	6,0	5,0	5,5	Средний
«II-12-4»	4,5	7,0	6,0	6,5	Средний
«I-7-21»	4,1	7,2	5,5	6,0	Поздний

В работе использовались стандартные и общепринятые методы исследования:

– отбор проб проводили по ГОСТ 31339-2006;

– определение массовой доли сухих веществ – по ГОСТ 28561-90;

– определение массовой доли редуцирующих сахаров – по ГОСТ 8756.13-87;

– определение кислотности – по ГОСТ 6687.4-86.

При всем многообразии доступных методов определения суммарного значения ан-

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ПЕРСПЕКТИВНЫХ И РАЙОНИРОВАННЫХ В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ СОРТОВ КРЫЖОВНИКА

тиоксидантной активности большая часть из них не стандартизирована, а результаты измерений, полученные с помощью разных методик, не являются коррелирующимися между собой [8-11]. При этом, использование полученных значений суммарной антиоксидантной активности с помощью какой-либо одной методики для сопоставления и ранжирования относительной ценности однотипных продуктов является оправданным, так как в данном случае значения антиоксидантной активности выступают в роли показателя качества продукции. Общая антиоксидантная активность исследуемых ягод крыжовника осуществлялась методом инверсионной потенциометрии, в основе которого химическое взаимодействие антиоксидантов с медиаторной системой  $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ , которое привело к изменению ее окислительно-восстановительного потенциала. Метод инверсионной потенциометрии удобен в исполнении, не требует значительных временных и финансовых затрат на необходимое оборудование [3].

В качестве средств измерения использовался многофункциональный потенциометрический анализатор МПА-1 (НПВП «Ива», Россия). Рабочим электродом служил платиновый планарный электрод (НПВП «Ива», Россия), электрод сравнения – стандартный хлорсеребряный.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам проведенных исследований крыжовника (рис.1), значения антиоксидантной активности у сортов, районированных в Свердловской области, находятся в диапазоне от  $4,726 \pm 0,014$  до  $17,945 \pm 0,054$  ммоль/дм<sup>3</sup> экв (наибольшее значение у сорта «Лунная ночь», наименьшее значение у сорта «Берилл»); у перспективных сортов – в диапазоне от  $6,370 \pm 0,019$  до  $9,552 \pm 0,029$  ммоль/дм<sup>3</sup> экв (наибольшее значение у сорта «I-7-21», наименьшее «II-12-4»).

Полученные значения наглядно демонстрируют, что значение общей антиоксидантной активности в исследуемых сортах крыжовника является разнообразным и составляет от 14,7 до 56,0 % от рекомендуемой суточной нормы потребления в пересчете на аскорбиновую кислоту (значения АОА аскорбиновой кислоты –  $32,024 \pm 0,350$  ммоль-экв/дм<sup>3</sup>) для сортов, районированных в Свердловской области; и от 19,9 до 29,8 % для перспективных сортов.

Полученные значения общей антиоксидантной активности ягод крыжовника подтверждается проведенными исследованиями как отечественных [7], так и зарубежных [12,13] авторов. Наибольшие значения можно отметить у таких сортов, районированных в Свердловской области, как «Лунная ночь» и «Уральский виноград»; среди перспективных сортов также можно выделить такие сорта, как «I-7-21» и «I-7-2-17-05».

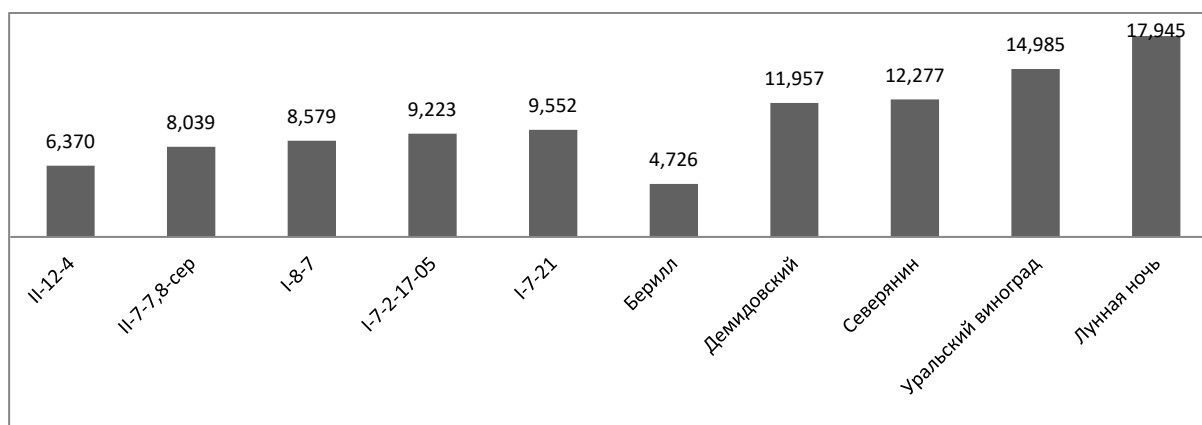


Рисунок 1 – Результаты исследования общей антиоксидантной активности у ягод крыжовника, ммоль/дм<sup>3</sup> экв

Figure 1 - The results of the study of antioxidant activity in gooseberry, mmol/dm<sup>3</sup> eq

Согласно полученным данным (рис. 2), содержание флавоноидов в ягодах крыжовника, находится в диапазоне от  $326,428 \pm 0,979$  до  $919,584 \pm 2,759$  мг/100 г съедобной части (наибольшее значение у сорта

«Северянин», наименьшее у сорта «Берилл»), у сортов, районированных в Свердловской области; у перспективных сортов - в диапазоне от  $292,182 \pm 0,877$  до  $489,488 \pm 1,468$  мг/100 г съедобной части (наибольшее зна-



чение у сорта «I-7-21», наименьшее у сорта «II-12-4»).

Полученные данные о содержании флавоноидов в ягодах крыжовника подтверждаются проведенными исследованиями как отечественных [4], так и зарубежных [14, 15]

авторов. Наибольшие значения наблюдаются у сортов «Северянин» и «Лунная ночь» среди сортов, районированных в Свердловской области; «I-7-21» и «I-7-2-17-05» среди перспективных сортов.

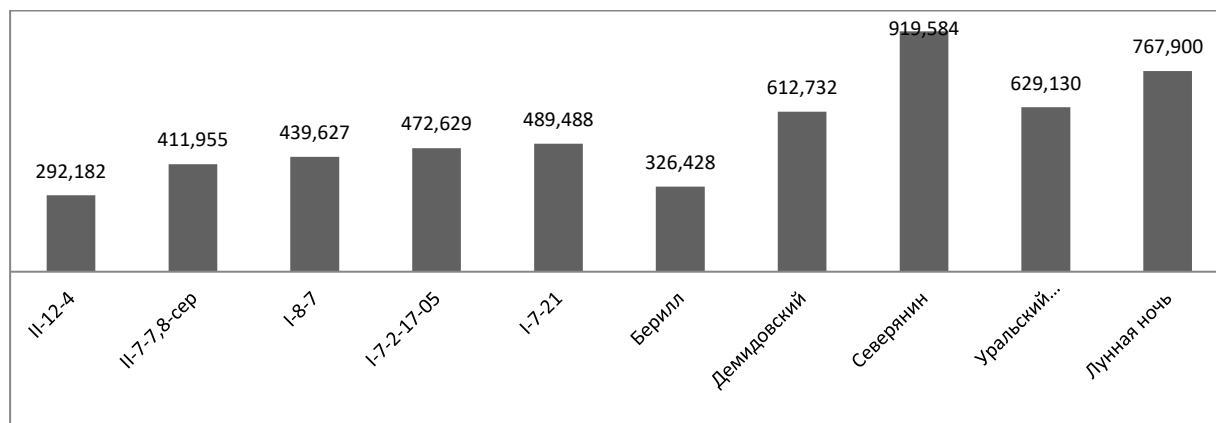


Рисунок 2 – Результаты исследования содержания флавоноидов у ягод крыжовника, мг/100 г съедобной части

Figure 2 - The results of the study of the content of flavonoids in gooseberry, mg / 100 g of the edible part

Согласно полученным данным (рис. 2), содержание фенольных веществ в ягодах крыжовника, находится в диапазоне от  $163,722 \pm 0,491$  до  $621,666 \pm 1,865$  мг галловой кислоты/100 г съедобной части (наибольшее значение у сорта «Лунная ночь», наименьшее у сорта «Берилл»), у сортов, районированных в Свердловской области; у перспективных сортов - в диапазоне от  $220,675 \pm 0,662$  до  $330,908 \pm 0,993$  мг галловой кислоты/100 г

съедобной части (наибольшее значение у сорта «I-7-21», наименьшее у сорта «II-12-4»).

Полученные данные о содержании фенольных веществ в ягодах крыжовника подтверждаются проведенными исследованиями как отечественных [4], так и зарубежных [14, 15] авторов. Наибольшие значения наблюдаются у сортов «Уральский виноград» и «Лунная ночь» среди сортов, районированных в Свердловской области; «I-7-21» и «I-7-2-17-05» среди перспективных сортов.

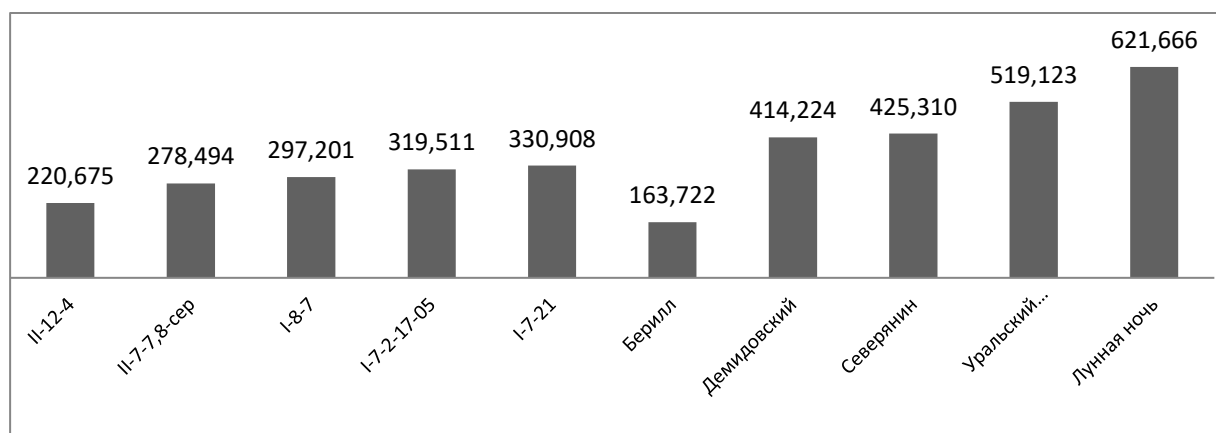


Рисунок 3 – Результаты исследования содержания фенолов у ягод крыжовника, мг галловой кислоты/100 г съедобной части

Figure 3 - The results of the study of the content of phenols in gooseberry, mg of gallic acid / 100 g of edible part

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ПЕРСПЕКТИВНЫХ И РАЙОНИРОВАННЫХ В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ СОРТОВ КРЫЖОВНИКА

Согласно полученным данным (рис. 2), содержание антоцианов в ягодах крыжовника, находится в диапазоне от  $129,821 \pm 0,389$  до  $692,941 \pm 2,079$  мг цианидин-3-гликозида/100 г съедобной части (наибольшее значение у сорта «Лунная ночь», наименьшее у сорта «Берилл»), у сортов, районированных в Свердловской области; у перспективных сортов - в диапазоне от  $174,981 \pm 0,525$  до  $262,389 \pm 0,787$  мг цианидин-3-гликозида/100 г

съедобной части (наибольшее значение у сорта «I-7-21», наименьшее у сорта «II-12-4»).

Полученные данные о содержании антоцианов в ягодах крыжовника подтверждаются проведенными исследованиями как отечественных [4], так и зарубежных [14, 15] авторов. Наибольшие значения наблюдаются у сортов «Северянин» и «Лунная ночь» среди сортов, районированных в Свердловской области; «I-7-21» и «I-7-2-17-05» среди перспективных сортов.

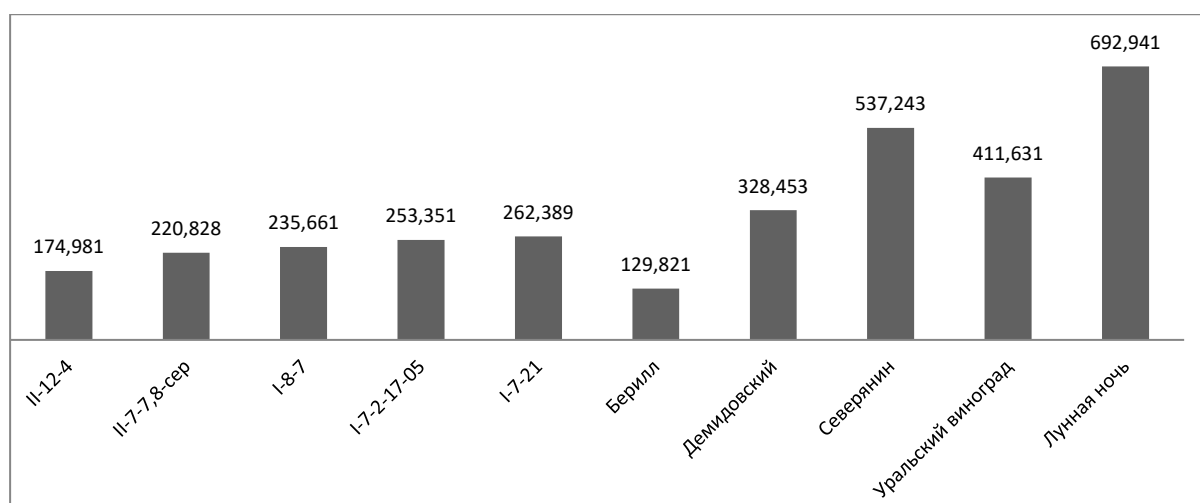


Рисунок 4 – Результаты исследования содержания антоцианов у ягод крыжовника, мг цианидин-3-гликозида/100 г съедобной части

Figure 4 - The results of the study of the content of anthocyanins in gooseberry, mg cyanidin-3-glycoside / 100 g of edible part

Согласно результатам исследований содержания общих сахаров (рис. 5) в ягодах крыжовника значение данного показателя среди сортов, районированных в Свердловской области, находится в диапазоне от 2,130 до 10,640 % (наибольшее значение у сорта «Лунная ночь», наименьшее значение у сорта «Берилл»). При этом содержание редуцирующих сахаров находится в диапазоне от 1,600 до 6,400 % (наибольшее значение у сорта «Демидовский», наименьшее значение у сорта «Берилл»)

Согласно результатам исследований содержания общих сахаров (рис. 5) в ягодах крыжовника значение данного показателя среди перспективных сортов находится в диапазоне от 6,080 до 10,340 % (наибольшее значение у сорта «I-7-2-17-05», наименьшее значение у сорта «I-7-21»). При этом содержание редуцирующих сахаров находится в

диапазоне от 3,520 до 7,680 % (наибольшее значение у сорта «I-8-7», наименьшее значение у сорта «II-7-7,8-сер»)

Полученные значения наглядно демонстрируют, что содержание редуцирующих и общих сахаров в исследуемых сортах ягод крыжовника значительно различается в зависимости от сорта. Наибольшим содержанием общих и редуцирующих сахаров можно охарактеризовать такие сорта крыжовника, как «Лунная ночь», а также перспективные сорта «I-8-7» и сорт «I-7-2-17-05», которые целесообразно использовать для приготовления кондитерских блюд и изделий. Наименьшим содержанием характеризуются сорта «Берилл», «Уральский виноград» и перспективный сорт «II-7-7,8-сер», что обуславливает возможность их потребления при диетологической коррекции рациона здоровых и больных людей.

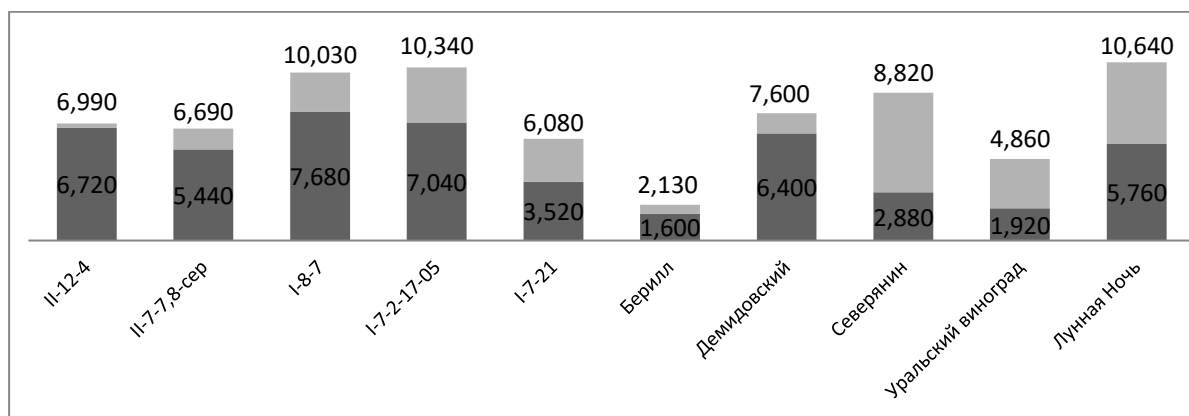


Рисунок 5 – Результаты исследования содержания сахаров у ягод крыжовника, %  
Figure 5 - The results of the study of the sugar content of gooseberry, %

Кроме того, были проведены исследования показателей кислотности. Так, согласно результатам исследования (рис. 6) показатели кислотности у сортов, районированных в Свердловской области, находится в диапазоне от 17,75 до 29,25 °Т (наибольшее значение

у сорта «Берилл», наименьшее у сорта «Демидовский»). показатели кислотности у перспективных сортов находится в диапазоне от 19,75 до 26,25°Т (наибольшее значение у сорта «I-8-7», наименьшее у сорта «II-7-7,8-сер»).

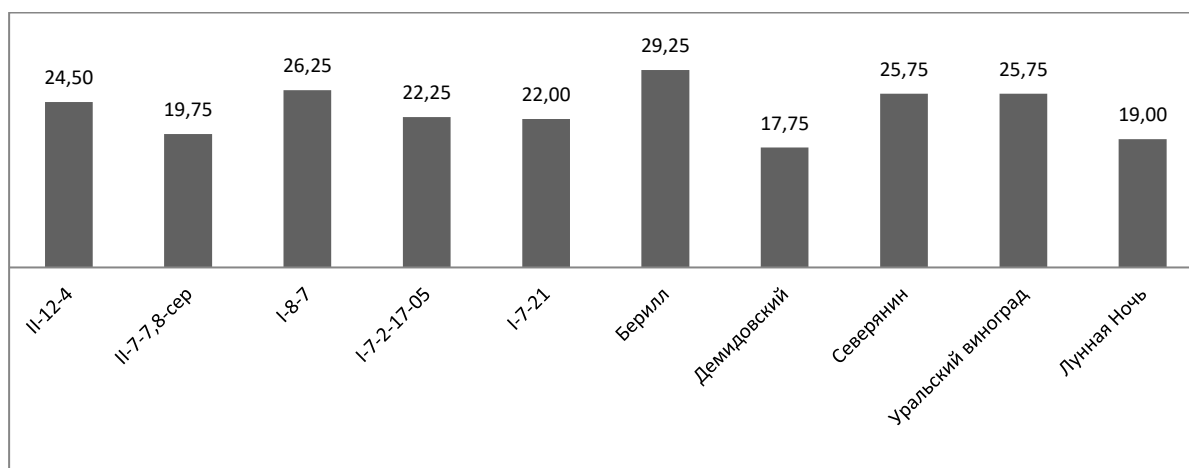


Рисунок 6 – Результаты исследования кислотности у ягод крыжовника, °Т  
Figure 6 - The results of the study of acidity in gooseberry, °Т

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования десяти перспективных и районированных в Свердловской области сортов крыжовника, представленным структурным подразделением ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН Свердловской селекционной станцией садоводства, получены новые данные по общей антиоксидантной активности ягод, содержания флавоноидов, фенолов и антоцианов, а также значению кислотности и содержанию редуцирующих и общих сахаров. Полученные данные позволят более корректно рассчитывать пищевую ценность рационов и обоснованно выбирать

тот или иной сорт при диетической коррекции рациона с целью повышения общей антиоксидантной активности.

По совокупности определенных показателей среди лидирующих сортов крыжовника можно выделить сорта «Лунная ночь», «Уральский виноград» и «Северянин» со значениями общей антиоксидантной активности  $17,945 \pm 0,054$ ,  $14,985 \pm 0,045$  и  $12,277 \pm 0,037$  ммоль-экв/дм<sup>3</sup> соответственно, что составляет от 38,3 до 62,3 % от рекомендуемой суточной нормы потребления в пересчете на аскорбиновую кислоту (значения АОА аскорбиновой кислоты –  $32,024 \pm$

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ПЕРСПЕКТИВНЫХ И РАЙОНИРОВАННЫХ В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ СОРТОВ КРЫЖОВНИКА

0,350 ммоль-экв/дм<sup>3</sup>) и обеспечивает возможность использовать ягоды крыжовника в качестве компонента-антиоксиданта в составе пищевых систем направленных снижением негативного воздействия окислительного стресса на организм человека.

Среди перспективных сортов можно выделить сорта «I-7-21» и «I-7-2-17-05» со значениями общей антиоксидантной активности 9,552±0,029 и 9,223±0,028 ммоль-экв/дм<sup>3</sup> соответственно. Кроме того, по совокупности всех исследуемых показателей данные сорта могут быть рекомендованы к дальнейшей селекции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов М. Ю. Роль плодов и ягод в обеспечении человека жизненно важными биологически активными веществами / М. Ю. Акимов, В. Н. Макаров, Е. В. Жбанова // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т.33. № 2. С. 56-60. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10214.

2. Акимов М.Ю. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства / М. Ю. Акимов, В. В. Бессонов, В. М. Коденцова, К. И. Эллер и др. // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 4. С. 220-232. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10055.

3. Вяткин А. В. Обзор методов определения общей антиоксидантной активности / А. В. Вяткин, Е. В. Пастушкова, О. В. Феофилактова // Современная наука и инновации. 2018. № 1 (21). С. 58-66.

4. Галсанова И. Ц. Методы определения антиоксидантной активности // Актуальные вопросы фармацевтических и естественных наук. Сборник по материалам конференции. 2021. С. 133-136.

5. Горбунова Н. В. Перспективы использования продуктов комплексной переработки растительного сырья в качестве источников получения антиоксидантов./ Н. В. Горбунова, А. В. Евтеев, А. В. Банникова, Е. И. Решетник // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 2 (42). С. 120-126.

6. Ковешникова Е. Ю. Исследование антиоксидантного комплекса плодов крыжовника / Е. Ю. Ковешникова, Н. Н. Верховная // Плодоводство и ягодоводство России. 2015. Т.41. С. 167-171.

7. Макаркина М. А. Итоги биохимической оценки плодов различных плодовых и ягодных культур во ВНИИСПК // Садоводство и виноградарство. 2015. № 3. С. 33-37.

8. Макарова Н. В. Ягоды – исходное сырье с антиоксидантными свойствами/ Н. В. Макарова, А. Н. Дмитриева, Э. В. Мусифуллина и др. // Пищевая промышленность. 2013. № 4. С. 25-27.

9. Почицкая И. М. Исследование антиоксидантной активности и минерального состава ягодного сырья / И. М. Почицкая, Н. В. Комарова, Е. И. Коваленко // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2017. № 1. С. 68-75.

10. Тарасов А. В. Потенциометрическая сенсорная система на основе модифицированных толстопленочных электродов для определения антиоксидантной активности напитков / А. В. Тара-

сов, О. В. Чугунова, Н. Ю. Стожко // Индустрия питания|Food Industry. 2020. Т. 5. № 3. С. 85–96. DOI: 10.29141/2500-1922-2020-5-3-10.

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

12. Чугунова О. В. Исследование антиоксидантной активности и ее изменения при хранении плодово-ягодного сырья Свердловской области / О. В. Чугунова, Н. В. Заворохина, А. В. Вяткин // Аграрный вестник Урала. 2019. № 11 (190). С. 59-64. DOI: 10.32417/article\_5всв861у8у0053.57240026.

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

14. Orsavová J. Contribution of phenolic compounds, ascorbic acid and vitamin E to antioxidant activity of currant (*Ribes L.*) and gooseberry (*Ribes uva-crispa L.*) fruits / J. Orsavová, I. Hlaváčová, J. Mlček et. al. // Food Chemistry. 2019. Vol. 284. P. 323-333. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.072.

15. Laczkó-Zöld E. Extractability of polyphenols from black currant, red currant and gooseberry and their antioxidant activity / E. Laczkó-Zöld, A. Komlósi, T. Ülkei et. al. // Acta Biologica Hungarica. 2018. Vol. 69. P. 156-169. DOI: 10.1556/018.69.2018.2.5.

16. Baby B. Antioxidant and anticancer properties of berries / B. Baby, P. Antony, R. Vijayan // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2018. Vol. 58. P. 2491-2507. DOI: 10.1080/10408398.2017.1329198.

### Информация об авторах

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

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

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

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

### REFERENCES

1. Akimov, M. Yu., Makarov & V. N., Zhbanova, E. V. (2019). The role of fruits and berries in providing a person with vital biologically active substances. *Achievements of Science and Technology of*

the APK. 33(2). 56-60. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10214. (In Russ.).

2. Akimov, M.Yu., Bessonov, V. V., Kodentsova, V. M., Eller, K. I. et al. (2020). Biological value of fruits and berries of Russian production. *Nutrition issues*, 89(4). 220-232. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10055. (In Russ.).

3. Vyatkin, A. V., Pastushkova, E. V. & Feofilaktova, O. V. (2018). Review of methods for determining the total antioxidant activity. *Modern Science and Innovations*. 1 (21). 58-66. (In Russ.).

4. Galsanova I. Ts. (2021). Methods for determining antioxidant activity. Topical issues of pharmaceutical and natural sciences. *Collection of conference materials*. 133-136. (In Russ.).

5. Gorbunova, N. V. Evteev, A. V. Bannikova, A. V. & Reshetnik, E. I. (2017). Prospects for the use of products of complex processing of plant growing as sources for obtaining antioxidants. *Far East Agar Bulletin*. 2 (42). 120-126. (In Russ.).

6. Koveshnikova, E. Yu. & Verkhovnaya, N. N. (2015). Research of the antioxidant complex of gooseberry fruits. *Fruit growing and berry growing in Russia*. 41. 167-171. (In Russ.).

7. Makarkina, M. A. (2015). Results of the biochemical evaluation of the fruits of various fruit and berry crops in VNIISP. *Horticulture and viticulture*. (3), 33-37. (In Russ.).

8. Makarova, N. V., Dmitrieva, A. N., Musifullina, E. V. et al. (2013). Berries - raw materials with antioxidant properties. *Food industry*. (4). 25-27. (In Russ.).

9. Pochitskaya, I. M., Komarova, N. V. & Kovalenko, E. I. (2017). Research of antioxidant activity and mineral composition of berry raw materials. *Food industry: science and technology*. (1). 68-75. (In Russ.).

10. Tarasov, A. V., Chugunova, O. V. & Stozhko, N. Yu. (2020). Potentiometric sensor system based on modified thick-film electrodes for determining the antioxidant activity of drinks. *Food Industry*. 5(3). 85-96. DOI: 10.29141/2500-1922-2020-5-3-10. (In Russ.).

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

12. Chugunova, O.V., Zavorokhina, N.V. & Vyatkin, A.V. (2019). Study of antioxidant activity and its changes during storage of fruit and berry raw materials of the Sverdlovsk region. *Agrarian Bulletin of Ural-Ia*. 11 (190). 59-64. DOI: 10.32417/article\_5vsv861u8u0053.57240026. (In Russ.).

13. Yashin, A., Vedenin, A. N., Yashin, Ya. I., Nemzer B. V. (2019). Yagody: chemical composition, antioxidant activity. Effect of berry consumption on human health. *Analytics*. 9(3). 222-231. (In Russ.).

14. Orsavová, J., Hla-váčová, I., Mlček, J. et al. (2019). Contribution of phenolic compounds, ascorbic acid and vitamin E to antioxidant activity of currant (*Ribes L.*) and gooseberry (*Ribes uva-crispa L.*) fruits. *Food Chemistry*. (284). 323-333. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.072.

15. Laczkó-Zöld, E., Komlósi, Ülkei, A. T., et al. (2018). Extractability of polyphenols from black currant, red currant and gooseberry and their antioxidant activity. *Acta Biologica Hungarica*. (69). 156-169. DOI: 10.1556/018.69.2018.2.5.

16. Baby, B. Antony, P. & Vijayan, R. (2018). Antioxidant and anticancer properties of berries. *Critical Re-views in Food Science and Nutrition*. (58). 2491-2507. DOI: 10.1080/10408398.2017.1329198.

#### **Information about the authors**

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

A. V. Vyatkin – Ph.D., Assistant of the Department of Tourism Business and Hospitality, Ural State University of Economics.

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*



Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 665.328

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.016

 EDN: QMMGAT

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СТАДИИ ПРОИЗВОДСТВА ПИВА

Евгения Владимировна Кравцова <sup>1</sup>, Александр Геннадьевич Новоселов <sup>2</sup>,  
Александр Юрьевич Кузнецов <sup>3</sup>, Юлия Николаевна Гуляева <sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>4</sup> НИИ (ВСИ МТО ВС РФ) ВАМТОРоссия, Санкт-Петербург

<sup>1</sup> evkravtcova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000000313933347>

<sup>2</sup> agnovoselov@itmo.ru, <https://orcid.org/0000000211685362>

<sup>3</sup> sasha\_2731@mail.ru, <https://orcid.org/0000000299539203>

<sup>4</sup> gulyaeva.yul@yandex.ru, <https://orcid.org/0000000157732315>

**Аннотация.** Технология промышленного производства пива представляет собой цепочку, логически связанных между собой физических и биохимических процессов, направленных на трансформацию полисахаридов, содержащихся в солодовом сырье, в моно- и дисахариды, которые необходимы для последующих процессов брожения, а также для выращивания засеваемых дрожжей. Представлено обоснование необходимости изучения этих процессов с помощью методов системного подхода. В статье, на базе трехуровневого системного подхода, рассматривается влияние гранулометрического состава измельченного солодового сырья на вязкостные свойства водно-солодовых растворов. Отмечается, что размер частиц измельченного солода существенно влияет на изменение динамической вязкости водно-солодовых растворов в процессе проведения водно-тепловой ферментативной обработки (ВТФО). Показано, что при проведении стадии ВТФО с водно-солодовыми суспензиями, составленными из частиц измельченного солода со средним диаметром 1 мм, после начала клейстеризации нативного крахмала, значение динамической вязкости резко возрастает в несколько раз. Констатируется, что комплексных исследований такого рода ранее не производилось. Полученные результаты, позволят определить оптимальный средний диаметр частиц измельченного солода, идущего на составление гидромодуля, уточнить кинетику проведения процесса ВТФО, и уменьшить энергозатраты на его проведение.

**Ключевые слова.** Многофазные среды, многокомпонентные среды, аппарат, затирание, суспензия, гидромодуль, гидродинамические процессы, тепловые процессы, массообменные процессы, водорастворимые углеводы, вязкость.

---

**Для цитирования:** Анализ процессов и аппаратов, реализующих технологические стадии производства пива / А. Г. Новоселов [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 117 – 122. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.016, EDN: <https://elibrary.ru/QMMGAT>.

---

Original article

## ANALYSIS OF PROCESSES AND DEVICES IMPLEMENTING THE TECHNOLOGICAL STAGES OF BEER PRODUCTION

Evgenia V. Kravtsova<sup>1</sup>, Alexander G. Novoselov<sup>2</sup>,  
Alexander Yu. Kuznetsov<sup>3</sup>, Yulia N. Gulyaeva<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> ITMO University, St. Petersburg, Russia;

<sup>4</sup> NII (VSI MTO RF Armed Forces) VAMTO Russia, St. Petersburg

<sup>1</sup> evkravtsova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000000313933347>

<sup>2</sup> agnovoselov@itmo.ru, <https://orcid.org/0000000211685362>

<sup>3</sup> sasha\_2731@mail.ru, <https://orcid.org/0000000299539203>

<sup>4</sup> gulyaeva.yul@yandex.ru, <https://orcid.org/0000000157732315>

**Abstract.** *The technology of industrial production of beer is a chain of logically interconnected physical and biochemical processes aimed at the transformation of polysaccharides contained in malt raw materials into mono- and disaccharides, which are necessary for subsequent fermentation processes, as well as for growing seed yeast. The rationale for the need to study these processes using the methods of a systematic approach is presented. In the article, on the basis of a three-level system approach, the influence of the granulometric composition of crushed malt raw materials on the viscosity properties of water-malt solutions is considered. It is noted that the particle size of crushed malt significantly affects the change in the dynamic viscosity of water-malt solutions in the process of water-thermal enzymatic treatment (HTFE). It has been shown that when carrying out the HTFO stage with water-malt suspensions composed of crushed malt particles with an average diameter of 1 mm, after the start of gelatinization of native starch, the value of dynamic viscosity sharply increases several times. It is stated that complex studies of this kind have not been carried out before. The obtained results will allow to determine the optimal average particle diameter of the crushed malt used for the preparation of the hydro-module, to clarify the kinetics of the HTFO process, and to reduce the energy consumption for its implementation.*

**Keywords:** *Multiphase media, multicomponent media, apparatus, mashing, suspension, hydro-module, hydrodynamic processes, thermal processes, mass transfer processes, water-soluble carbohydrates, viscosity.*

---

**For citation:** Kravtsova, E. V., Novoselov, A. G., Kuznetsov, A. Yu. & Gulyaeva, Yu. N. (2022). Analysis of processes and apparatuses that implement the technological stages of beer production. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 117-122. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.016.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Разработка новой конструкции аппарата или применение уже известной, для последовательного проведения определенных стадий технологического процесса пива, является достаточно сложной задачей. Ее решение требует всестороннего, или иными словами, системного анализа физико-химических процессов, происходящих в его рабочем объеме, в соответствии с разработанной технологией для данной стадии технологического процесса. В общем случае под системным анализом понимается упорядоченная и логически

связанная система данных и информации в виде физических и математических моделей. При этом разработанные модели должны сопровождаться тщательной проверкой экспериментом с целью понимания их достоверности и дальнейшего совершенствования

Основываясь на представлениях о пространственном масштабе, в границах которого осуществляются те или иные процессы, с учетом известных явлений были выделены пять ступеней структурной иерархии [1,2,3,4]:

– комплекс явлений, происходящих на атомарно-молекулярном уровне;

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СТАДИИ ПРОИЗВОДСТВА ПИВА

- комплекс явлений, происходящих на уровне молекулярных частиц;
- комплекс явлений, происходящих при движении единичного включения дисперсной фазы, с учетом физико-химических реакций и явлений межфазного тепло- и массопереноса;
- комплекс явлений, происходящих при проведении физико-химических процессов при массовом движении включений дисперсной фазы в условиях стесненности;
- комплекс явлений, определяющих гидродинамическую обстановку в масштабе аппарата.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Позднее, автором работы [6], был предложен более простой 3-х уровневый системный подход к анализу процессов, происходящих в многофазных, многокомпонентных средах. Предложенный подход также основан на многоуровневом иерархическом принципе анализа физико-химической системы и был упрощен для удобства понимания и систематизации полученных данных. В основе методики этого анализа лежат три подсистемных блока, условно названные «Среда», «Энергия» и «Аппарат», рисунок 1.



Рисунок 1 - Основные подсистемные блоки [6]

Figure 1 - Main subsystems blocks [6]

Автор работы [6] предложил проводить декомпозицию каждой, отдельно взятой, стадии технологического процесса и детально анализировать каждый из подсистемных блоков. Эта методика анализа была апробирована при разработке новых конструкций технологических аппаратов, применяемых в дрожжевой [6], спиртовой [7,8,9,10,11,12] и пивной [13,14,15] отраслях промышленности. Применение стратегии системного анализа оказалось весьма успешным, что привело к его развитию и широкому использованию при анализе и совершенствовании процессов и аппаратов химических и пищевых производств.

Классическая технология производства пива представляет собой достаточно сложную трансформацию исходного сырья (солода и воды) в готовый продукт (пиво). На стадии затирания осуществляется водно-тепловая,

ферментативная обработка (ВТФО) измельченного солода. Главная задача, которая решается при проведении ВТФО, это перевод нативных углеводов, содержащихся в зернах солода, в водорастворимые углеводы (мальтозу, глюкозу, декстрины), которые, на стадии брожения, будут являться питательной средой для микроорганизмов. Для решения этой задачи в аппаратах, реализующих ВТФО, проводятся, последовательно, следующие физические процессы:

- гидродинамические процессы, связанные со смешиванием твердой фазы (частицы измельченного солода) с жидкостной фазой (вода);
- тепловые процессы, связанные с нагревом суспензии и, по окончании процесса ВТФО, охлаждением суслу;
- массообменные процессы, связанные с трансформацией, на молекулярном уровне, полисахаридов крахмала в моносахариды и дисахариды, происходящие под влиянием повышенных температур и содержащихся в солоде разжижающих ферментов, в частности,  $\alpha$ -амилазы.

От эффективности проведения этих процессов в соответствующих технологических аппаратах во многом зависит качество конечного продукта – пива.

Основываясь на традиционной технологии производства пива и машинно-аппаратурной схеме ее реализующей, можно видеть, что, этап приготовления суслу и подготовки его к сбраживанию является самым материало- и энергоемким [16].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ процесса ВТФО, выполненный в работах [13,14,15], показал, что, в процессе его проведения, по мере повышения температуры затора, возникает резкое увеличение вязкости водно-солодовой суспензии. Такой характер изменения вязкости водно-солодовой суспензии наблюдался во всех экспериментах с различными гидромодулями в диапазоне их изменения от 1:4 до 1:2,5 и при различных градиентах скорости сдвига от  $2 \text{ c}^{-1}$  до  $1000 \text{ c}^{-1}$ . С повышением концентрации измельченного солода вязкость суспензии возрастала. На основании экспериментальных исследований, представленных в открытой печати [13,14,15], можно сделать следующее заключение, что вязкость водно-солодовых суспензий, в процессе проведения ВТФО, зависит от:

- концентрации измельченного солода;



- температурного режима проведения рабочего процесса ВТФО;
- содержания разжижающих нативных ферментов в солоде;
- гидродинамической обстановки в заторных аппаратах.

Как видно из графика, представленного на рисунке 2, максимальное значение вязкости суспензия имеет после окончания процесса набухания солодовых частиц. Здесь следует заметить, что процесс набухания, т.е. увеличения их в размерах, одновременно сопровождается и растворением поверхностных слоев. Эти

два процесса идут параллельно, но скорости набухания и растворения – различны и во многом зависят от размера частиц солода.

Чем больше крупность частиц, тем дольше необходимо проводить режим ВТФО, при сопоставимых гидродинамических и температурных условиях, а, следовательно, следует ожидать и более высокие значения вязкости суспензий. Косвенно, это подтверждается рядом работ, например, [16, 17], но конкретных исследований, в этом направлении, нет.

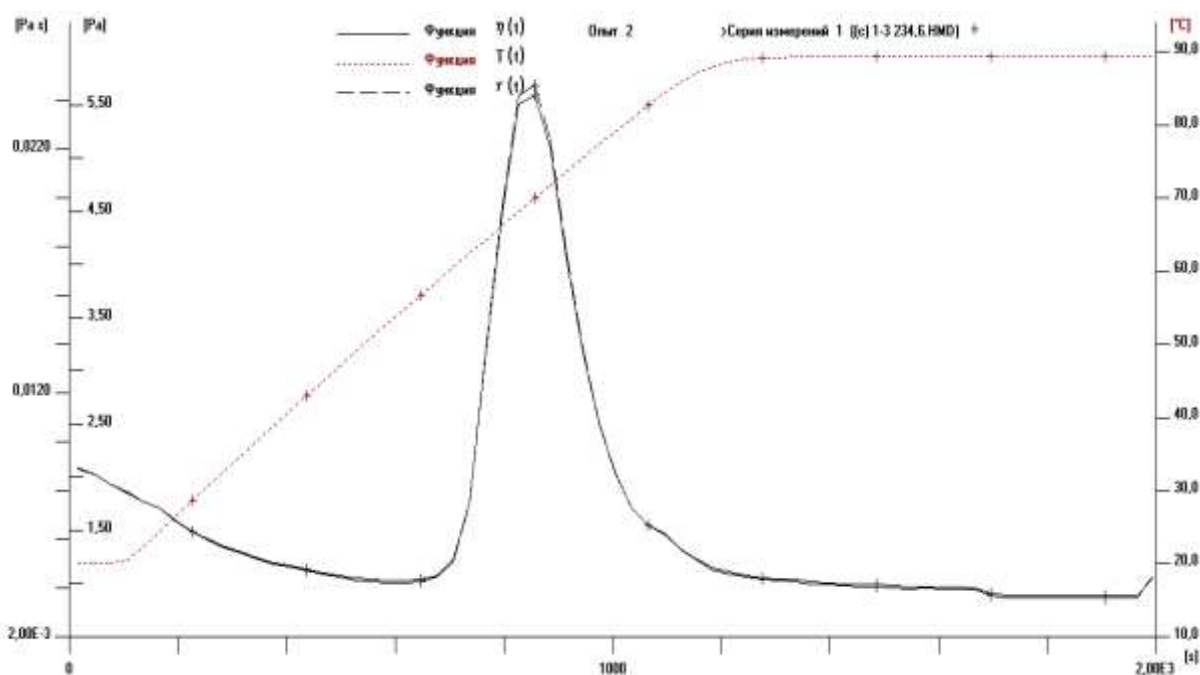


Рисунок 2 – Вязкостно-температурная зависимость водно-солодовой суспензии гидро модуля 1:2,5, градиент скорости сдвига -234,6 с<sup>-1</sup>[13]

Figure 2 – Viscosity-temperature dependence of water-malt suspension hydromodule 1:2.5, shear rate gradient -234.6 s<sup>-1</sup>[13]

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой связи, представляет большой научный и практический интерес, выяснение влияния размера солодовых частиц на вязкость водно-солодовых суспензий. В свою очередь, полученные результаты, позволят определить средний диаметр частиц измельченного солода, идущего на составление гидро модуля, уточнить кинетику проведения процесса ВТФО, и уменьшить энергозатраты на его проведение.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии: Общие стратегии. М.: Наука, 1976. 499с.

2. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии: Топологический принцип формализации. М.: Наука, 1979. 393с.

3. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М.:Химия, 1985. 448с.

4. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Марков В.П. Системный анализ процессов химической технологии. Применение метода нечетких множеств. М.: Наука, 1986. 367с.

5. Новоселов А.Г. Системный подход к анализу процессов в многофазных средах химических и биохимических производств. // М.: Химическое и нефтехимическое машиностроение, 1996, №3, С.3-5.

6. Новоселов А.Г. Интенсификация массообмена между газом и жидкостью и разработка высо-

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СТАДИИ ПРОИЗВОДСТВА ПИВА

коэффициентов аппаратов для пищевой и микробиологической промышленности: Дисс. д-ра. техн. наук. СПб., 2002. 362 с.

7. Новоселов А.Г., Чеботарь А.В., Ибрагимов Т.С. Производство этилового спирта в кожухотрубном струйно-инжекционном аппарате по низкотемпературной схеме // Техника и технология пищевых производств. 2012. №1 (24). С. 112-115.

8. Новоселов А.Г., Чеботарь А.В., Ибрагимов Т.С. Характерные особенности изменения реологических свойств водно-зерновых суспензий в процессе водно-тепловой и ферментативной обработки (ВТФО) зернового сырья // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 1(15). С. 30.

9. Чеботарь А.В., Петрова Н.Л., Новоселов А.Г. Исследование влияния амилолитических ферментов на вязкость водно-зерновой суспензии в процессе водно-тепловой ферментативной обработки ячменного зерна // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 1(19). С. 41.

10. Чеботарь А.В. Совершенствование спиртовых производств на основе экспериментальных исследований рео- и гидродинамики водно-зерновых суспензий в трубах технологических аппаратов.: дисс. ... канд. техн. наук. СПб.: СПб НИУ ИТМО, 2014. 94 - 136 с.

11. Новоселов А.Г., Чеботарь А.В., Гуляева Ю.Н. Системный подход к анализу процесса водно-тепловой и ферментативной обработки зернового материала в технологии производства пищевого этанола. 1. Анализ блока «Среда» // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 4(22). С. 236-243.

12. Новоселов А.Г., Гуляева Ю.Н., Сивенков А.В. Системный подход к анализу процесса водно-тепловой и ферментативной обработки зернового материала в технологии производства пищевого этанола. Часть 2. Анализ блоков «Энергия» и «Аппарат» // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств - 2015. - № 1(23). С. 126-131.

13. Новоселов А.Г., Малахов Ю.Л., Степаненко А.В., Гуляева Ю.Н. Исследование реологических свойств водно-зерновых суспензий, приготовленных на основе измельченного солода // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2016. № 4(30). С. 83-90.

14. Новоселов А.Г., Гуляева Ю.Н., Малахов Ю.Л., Чеботарь А.В. Рео- и гидродинамика зерновых суспензий. Научное обоснование выбора метода исследований и разработка экспериментального стенда // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2017. № 1(31). С. 42-51.

15. Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива. – СПб., Профессия, 2001. – 912с.

16. Устинников Б.А., Громов С.И., Полуянова М.Т.. Зависимость выхода спирта от степени измельчения зерна при непрерывном разваривании // Ферментная и спиртовая промышленность. М., 1970, № 4, С. 14-16.

16. Ustinnikov, B. A., Gromov, S. I. & Poluyanov, M. T. Dependence of alcohol yield on the degree of grain refining during continuous boiling. *Enzymatic and Alcohol Industry*. М., 1970, no. 4, S. 14-16.

17. Сабиров А.А. Разработка технологии переработка ржи для получения сиропа и белковых добавок. Дисс. канд. техн. наук. – СПб, Университет ИТМО, 2019, 18 с.

### Информация об авторах

Е. В. Кравцова – к.т.н., преподаватель, факультет Биотехнологий, Университет ИТМО.

А. Г. Новоселов – д.т.н., преподаватель, факультет Биотехнологий, Университет ИТМО.

А. Ю. Кузнецов – аспирант, Университет ИТМО.

Ю. Н. Гуляева – к.т.н., сотрудник научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации) Военной академии материально-технического обеспечения.

### REFERENCES

1. Kafarov, V.V. & Dorokhov, I.N. (1976). System Analysis of Chemical Technology Processes: General Strategies. М.: Nauka, 499 p. (In Russ.).

2. Kafarov, V.V. & Dorokhov, I.N. (1979). System analysis of chemical technology processes: Topological principle of formalization. М.: Nauka, 393 p. (In Russ.).

3. Kafarov, V.V. (1985). Methods of cybernetics in chemistry and chemical technology. М.: Chemistry, 448 p. (In Russ.).

4. Kafarov, V.V., Dorokhov, I.N. & Markov, V.P. (1986). System analysis of chemical technology processes. Application of the method of fuzzy sets. М.: Nauka, 367p. (In Russ.).

5. Novoselov, A.G. (1996). A systematic approach to the analysis of processes in multiphase media of chemical and biochemical industries. *Chemical and petrochemical engineering*, (3), 3-5. (In Russ.).

6. Novoselov, A.G. (2002). Intensification of mass exchange between gas and liquid and the development of highly efficient devices for the food and microbiological industries. *Candidate's thesis*. St. Petersburg. (In Russ.).

7. Novoselov, A.G., Chebotar, A.V. & Ibragimov, T.S. (2012). Production of ethyl alcohol in a shell-and-pipe jet-injection apparatus according to a low-temperature scheme. *Technique and technology of food production*. 1 (24). 112-115. (In Russ.).

8. Novoselov, A.G., Chebotar, A.V. & Ibragimov, T.S. (2013). Characteristic features of the change in the rheological properties of water-grain suspensions in the process of water-thermal and enzymatic processing (WTF) of grain raw materials. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and devices for food production*, 1(15). 30. (In Russ.).

9. Chebotar, A.V., Petrova, N.L. & Novoselov A.G. (2014). Investigation of the influence of amylolytic enzymes on the viscosity of water-grain suspension in the process of water-thermal enzymatic treatment of barley grain. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and apparatuses for food production*. 1 (19). S. 41. (In Russ.).

10. Chebotar, A.V. (2014). Improvement of alcohol production on the basis of experimental studies of rheo- and hydrodynamics of water-grain suspensions in pipes of technological apparatuses. *Candidate's thesis*. St. Petersburg: St. Petersburg Petersburg NRU ITMO. (In Russ.).

11. Novoselov, A.G., Chebotar, A.V. & Gulyaeva, Yu.N. (2014). A systematic approach to the analysis of the process of water-thermal and enzymatic processing of grain material in the technology of food ethanol production. 1. Analysis of the block "Environment". *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and devices for food production*. 4(22). 236-243. (In Russ.).

12. Novoselov, A.G., Gulyaeva, Yu.N. & Sivenkov, A.V. (2015). A systematic approach to the analysis of the process of water-thermal and enzymatic processing of grain material in the technology of food ethanol production. Part 2. Analysis of blocks "Energy" and "Apparatus". *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and apparatuses of food production*, 1(23). 126-131. (In Russ.).

13. Novoselov, A.G., Malakhov, Yu.L., Stepanenko, A.V. & Gulyaeva Yu.N. (2016). Study of the rheological properties of water-grain suspensions prepared on the basis of crushed malt. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and apparatuses for food production*. 4(30). 83-90. (In Russ.).

14. Novoselov, A.G., Gulyaeva, Yu.N., Malakhov, Yu.L. & Chebotar, A.V. (2017). Rheo- and hydrodynamics of grain suspensions. Scientific substantiation of the choice of research method and development of an experimental stand. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and apparatuses of food production*. 1(31). 42-51. (In Russ.).

15. Kuntze, V. & Mit, G. (2001). *Technology of malt and beer*. St. Petersburg: Profession. (In Russ.).

16. Ustinnikov, B. A., Gromov, S. I. & Poluyanov, M. T. (1970). Dependence of alcohol yield on the degree of grain refining during continuous boiling. *Enzymatic and Alcohol Industry*. (4), 14-16. (In Russ.).

17. Sabirov, A.A. (2019). Development of technology for processing rye to obtain syrup and protein supplements. *Candidate's thesis*. St. Petersburg, ITMO University. (In Russ.).

#### **Information about the authors**

*E. V. Kravtsova – Ph.D., Lecturer, Faculty of Biotechnology, ITMO University.*

*A. G. Novoselov – Doctor of Technical Sciences, Lecturer, Faculty of Biotechnology, ITMO University.*

*A. Yu. Kuznetsov – PhD student, ITMO University.*

*Yu. N. Gulyaeva – Ph.D., employee of the Research Institute (Military System Research of the Logistics Support of the Armed Forces of the Russian Federation) of the Military Academy of Logistics.*

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*



Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодовоовощной продукции и виноградарства (технические науки)  
УДК 664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.017



## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ СЕМЯН БРОККОЛИ

Эльмира Рамазановна Эминова<sup>1</sup>, Махмуд Ахмед Хашим<sup>2</sup>,  
Ольга Фёдоровна Лунёва<sup>3</sup>, Анастасия Валерьевна Жернякова<sup>4</sup>,  
Денис Александрович Бараненко<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup> [eminovachemist@mail.ru](mailto:eminovachemist@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9624-4429>

<sup>2</sup> [makhashim@itmo.ru](mailto:makhashim@itmo.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5619-7162>

<sup>3</sup> [olya.lunyova.2@gmail.com](mailto:olya.lunyova.2@gmail.com)

<sup>4</sup> [anastasia.zhernyakova@mail.ru](mailto:anastasia.zhernyakova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9260-3025>

<sup>5</sup> [denis.baranenko@itmo.ru](mailto:denis.baranenko@itmo.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

**Аннотация.** Цель данной работы - исследование общего содержания фенольных соединений и флавоноидов в частности в экстрактах семян брокколи, полученных мацерацией с перемешиванием и ультразвуковой экстракцией. В качестве объекта исследования были использованы водно-этанольные экстракты семян брокколи, полученные мацерацией и экстракцией, дополненной ультразвуковым воздействием с частотой 35 КГц. Проанализировано влияние ультразвуковых волн на степень извлечения фенольных соединений при различных временных интервалах в сравнении с классическим методом экстракции — мацерацией. Установлено, что увеличение длительности ультразвукового воздействия с 10 до 40 минут оказывает деструктивное воздействие на флавоноиды, при этом общее содержание фенольных соединений в экстракте растёт. По достижении 30 мин времени экстракции отмечен такой пик насыщения, после которого эффективность экстракции фенольных соединений снижается (увеличение содержания фенольных соединений в экстракте с 20 до 30 мин составляет 15 %, с 30 до 40 минут — 4 %). Мацерация, как более мягкий метод экстракции, эффективна в отношении как фенольных соединений, так и флавоноидов. Степень извлечения последних была максимальной для всех опытов. Эффективность экстракции фенольных соединений при полуторачасовой мацерации была сопоставима с эффективностью ультразвуковой экстракции длительностью 30 минут (12,1 мг и 12,3 мг на 1 г семян брокколи соответственно).

**Ключевые слова:** биологически активные вещества, фенольные соединения, флавоноиды, ультразвуковая экстракция, мацерация, спектрофотометрия, Крестоцветные, брокколи.

**Для цитирования:** Исследование содержания фенольных соединений в экстрактах семян брокколи / Э.Р. Эминова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. С. 123 – 129. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.017. EDN: <https://elibrary.ru/rjpbuif>.

Original article

## STUDY OF THE PHENOLIC COMPOUNDS CONTENT IN BROCCOLI SEED EXTRACTS

Elmira R. Eminova<sup>1</sup>, Mahmood A. Hashim<sup>2</sup>, Olga F. Lunyova<sup>3</sup>,  
Anastasiya V. Zhernyakova<sup>4</sup>, Denis A. Baranenko<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> ITMO University, Saint Petersburg, Russia

<sup>1</sup> [eminovachemist@mail.ru](mailto:eminovachemist@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9624-4429>

<sup>2</sup> [makhashim@itmo.ru](mailto:makhashim@itmo.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5619-7162>

<sup>3</sup> [olya.lunyova.2@gmail.com](mailto:olya.lunyova.2@gmail.com)

<sup>4</sup> [anastasia.zhernyakova@mail.ru](mailto:anastasia.zhernyakova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9260-3025>

<sup>5</sup> [denis.baranenko@itmo.ru](mailto:denis.baranenko@itmo.ru) город, <https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

**Abstract.** *The purpose of this work is to study the total content of phenolic compounds and flavonoids in particular in extracts of broccoli seeds obtained by maceration with stirring and by ultrasonic extraction. As an object of study, we used water-ethanol extracts of broccoli seeds obtained by maceration and extraction, supplemented by ultrasonic treatment with a frequency of 35 kHz. The influence of ultrasonic waves on the degree of extraction at different time intervals was analyzed in comparison with the classical method of extraction - maceration. It has been established that an increase in the duration of ultrasonic waves exposure has a destructive effect on flavonoids, while the total content of phenolic compounds in the extract increases. Upon reaching 30 min of the extraction time, such a peak of saturation was noted, after which the efficiency of extraction of phenolic compounds decreases (the increase in the content of phenolic compounds in the extract from 20 to 30 min is 15 %, from 30 to 40 min – 4 %). Maceration, as a milder extraction method, is effective for both phenolic compounds and flavonoids. The degree of extraction of the latter was the highest for all experiments. The efficiency of extraction of phenolic compounds during one-and-a-half-hour maceration was comparable to the efficiency of ultrasonic extraction for 30 min (12.1 mg and 12.3 mg per 1 g of broccoli seeds, respectively).*

**Keywords:** *biologically active substances, phenolic compounds, flavonoids, ultrasonic extraction, maceration, spectrophotometry, Cruciferous, broccoli.*

---

**For citation:** Eminova, E.R., Hashim, M.A., Lunyova, O.F., Zhernyakova A.V. & Baranenko, D.A. (2022). Study of the phenolic compounds content in broccoli seed extracts. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 123-129. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.017. (In Russ.).

---

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия интерес к антиоксидантам в пищевых продуктах значительно возрос. Природные фенольные соединения способны подавлять процессы окисления, приводящие к развитию дегенеративных заболеваний, воспалительных процессов, рака [1-3]. Семена брокколи (*Brassica oleracea*) являются богатым источником фенольных соединений, в том числе флавоноидов, не уступающих по антиоксидантной активности витаминам С, Е и каротиноидам [4].

Еще одной группой биологически активных веществ, вызывающих все больший интерес и уникальных для растений семейства Крестоцветные, являются глюкозинолаты,

вторичные метаболиты которых обладают высокой биологической активностью. В частности, широко изучаются их антиканцерогенные, противовоспалительные, антиоксидантные свойства [5-7].

Количественная оценка фенольных соединений и глюкозинолатов на различных стадиях проращивания семян брокколи показала, что наибольшее содержание биологически активных веществ — в семенах [4], что обусловило выбор объекта исследования.

В соответствии с авторами [8], параметры экстракции фенольных соединений и глюкозинолатов сходны, что позволяет их совместное извлечение с высокой степенью выхода.

Фенольные соединения в растительных

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ СЕМЯН БРОККОЛИ

объектах представлены широким спектром соединений, среди которых флавоноиды выделяют в особую группу. Такое химическое разнообразие затрудняет выбор метода их определения. Для оценки общего содержания фенолов и флавоноидов в частности используют различные хроматографические [9-10,12], электрохимические [12], электрофоретические методы анализа [12]. Наиболее простым и доступным методом оценки общего содержания является метод молекулярной абсорбционной спектрофотометрии [13-15]. Как правило, в качестве стандарта для определения общего содержания фенольных соединений используется галловая кислота, для определения флавоноидов — кверцетин или рутин.

Для извлечения фенольных соединений используется мацерация [16], ультразвуковая [16-17], сверхкритическая флюидная [18], микроволновая экстракция [19]. Мацерация относится к классическим методам экстракции, не требует специального оборудования, проста в исполнении, является «щадящим» методом, поэтому до сих пор довольно широко применяется. К недостаткам можно отнести длительность процесса и низкий выход экстрактивных веществ по сравнению с другими методами. Экстракция под действием ультразвука также привлекательна своей простотой, не требует дорогостоящего оборудования и позволяет достичь большего выхода экстрактивных веществ при меньших затратах растворителя и времени [20-23]. Сверхкритическая флюидная, или CO<sub>2</sub>-экстракция, обладает высокой эффективностью, простотой разделения экстрактивных веществ и растворителя, но требует дорогостоящего оборудования. Еще одним недостатком можно выделить тот факт, что диоксид углерода является неполярным растворителем, что требует для многих групп биологически активных веществ введения дополнительного растворителя — соэкстрагента, в роли которых, как правило, выступают хлорсодержащие органические вещества. Микроволновая экстракция превосходит по эффективности ультразвуковую экстракцию. Современное оборудование для микроволновой экстракции предусматривает отделение растворителя (до 97 %). Микроволновое поле также может негативно сказываться на целостности молекул, что требует тщательной оптимизации параметров процесса.

Целью настоящего исследования являлась оценка общего содержания фенольных соединений и флавоноидов в экстрактах семян брокколи, полученных мацерацией с перемешиванием и ультразвуковой экстракцией.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в Университете ИТМО на базе лабораторий Мегафакультета наук о жизни, а также международного научного центра «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Изучение научной информации по тематике проекта проводилось при помощи патентного поиска, а также поиска высокорейтинговых статей в международных базах данных Web Of Science, Scopus, PubMed и PubChem.

В качестве объектов исследования служили водно-этанольные (70%) экстракты семян брокколи сорта «Рапини» (Россия).

Мацерацию проводили при перемешивании на магнитной мешалке со скоростью вращения 100 об/мин при T=25 ± 2 °С. В коническую колбу помещали 1,0 г (точная навеска) измельченных семян брокколи диаметром до 0,2 см, заливали 50 мл экстрагента и устанавливали на магнитное перемешивающее устройство US-1550A ULAB (Китай). Время экстракции составляло 90 мин. Параметры были подобраны как наиболее часто применяемые при данном методе.

Для проведения ультразвуковой экстракции проводили аналогичную пробоподготовку для четырех вариантов эксперимента и помещали в ультразвуковую ванну ГРАД 28-35 (Россия) на 10, 20, 30 и 40 мин.

В качестве стандартов использовались кверцетин (Sigma-Aldrich, США) и галловая кислота (Merck, ФРГ) с концентрацией 1 мг/мл, приготовленные по точной навеске. Рабочие растворы хранили не более одного дня.

Полученные экстракты фильтровали через бумажный фильтр «белая лента», довели объем до метки экстрагентом.

К аликвоте экстракта, отобранной для оценки суммы флавоноидов, добавляли пятикратный объем 2 %-ного спиртового раствора хлорида алюминия для комплексообразования. Через 15 минут анализировали на спектрометре SPECTROstar Nano BMG LABTECH (Германия) при длине волны 426 нм.

Для определения общего содержания фенольных соединений к аликвоте экстракта добавляли пятикратный объем реактива Фолина-Чокальтеу (1:10), такой же объем 7 %-ного карбоната натрия и убирали на 2 часа в темное место для комплексообразования. Образцы анализировали при длине волны 765 нм [24].

Концентрацию флавоноидов в пересчете на кверцетин и фенольных соединений в пересчете на галловую кислоту проводили по градуировочным графикам. Содержание биологически активных веществ пересчитывали в мг на 1 г семян брокколи.

Эксперименты проводили трехкратно, данные обрабатывали методом математической статистики с использованием MS Excel.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве стандарта для определения суммы фенольных соединений использовался комплекс кверцетина с хлоридом алюминия, так как кверцетин – флавоноид, обнаруженный в семенах брокколи [25]. Максимум поглощения стандартного раствора комплекса кверцетина ( $\lambda_{\max}=422$  нм) был близок к пику абсорбции комплекса флавоноидов экстракта с хлоридом алюминия ( $\lambda_{\max}=426$  нм). Для определения максимума поглощения галловой кислоты с реактивом Фолина-Чокальтеу также был получен спектр ( $\lambda_{\max}=765$  нм). Для органи-

ческих комплексов были построены градуировочные графики, по которым получены уравнения регрессии зависимости оптической плотности от концентрации реагента для флавоноидов (1) и фенольных соединений (2) в соответствующих диапазонах концентраций.

$$y = 50,977x + 0,0068 \quad (1)$$

$$y = 45,619x + 0,0043 \quad (2)$$

Мацерация в течение 90 мин привела к высокой степени извлечения как фенольных соединений в общем, так и отдельно флавоноидов. В пересчете на галловую кислоту выход полифенолов составил 12,1 мг на 1 г семян брокколи, а флавоноидов — 0,75 мг/г в пересчете на кверцетин.

Результаты экстракции биологически активных веществ под действием ультразвука (УЗ) представлены на рис. 1.

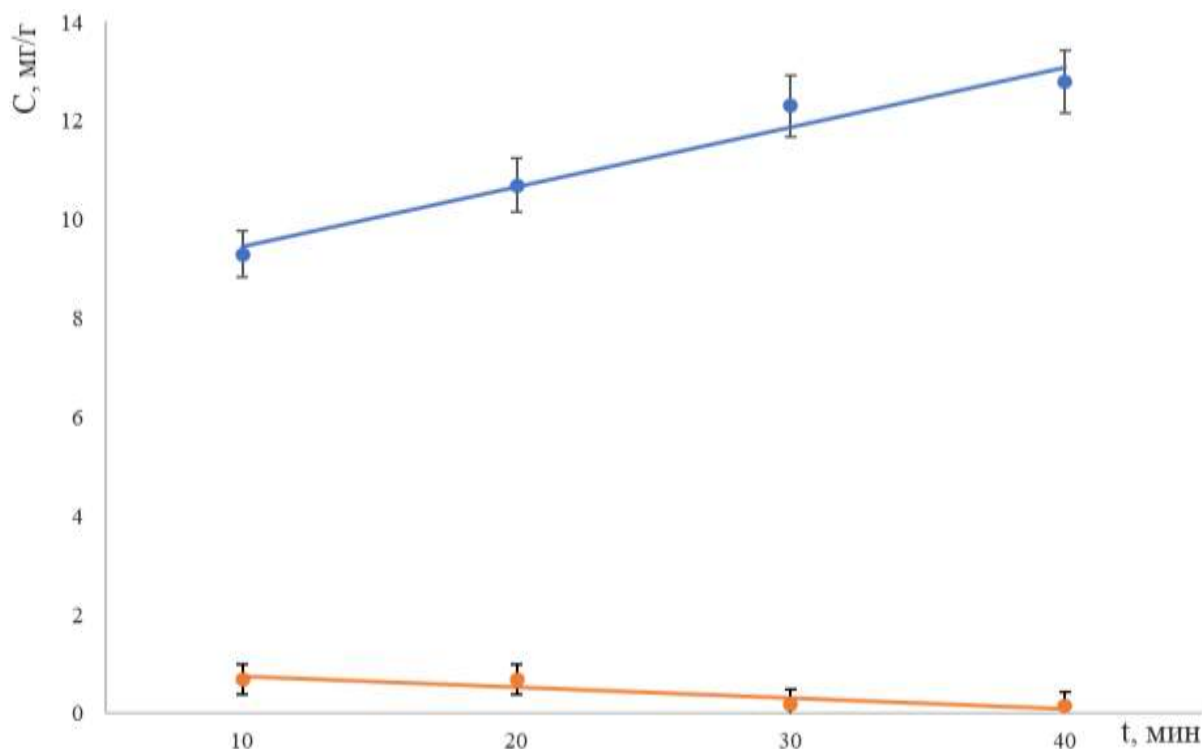


Рисунок 1 – Зависимость содержания (мг на 1 г семян брокколи) флавоноидов (1) и фенольных соединений (2) в УЗ экстрактах из семян брокколи от продолжительности экстракции (мин)

Figure 1 – Dependence of the content (mg/g) of flavonoids (1) and phenolic compounds (2) in ultrasonic extracts from broccoli seeds on the duration of extraction (min)

Как видно из представленных данных, степень извлечения фенольных соединений при полуторачасовой экстракции с перемешиванием сопоставима с количеством извлекаемых биологически активных веществ при УЗ экстракции в течение 30 мин. То есть, применение УЗ воздействия обеспечивает существенную интенсификацию извлечения данной группы соединений.

Максимальное содержание флавоноидов наблюдается в случае классической экстракции. При увеличении времени воздействия УЗ содержание флавоноидов в извлечении снижалось. Это может быть связано с окислением флавоноидов, их деструкцией под действием УЗ. Данные согласуются с результатами исследования влияния ультразвука на степень извлечения флавоноидов из зеленой массы

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ СЕМЯН БРОККОЛИ

гречихи. Увеличение времени УЗ экстракции до 180 сек приводило к снижению содержания биологически активных веществ [26]. В связи с чем целесообразно провести анализ влияния УЗ на степень извлечения флавоноидов при меньших временных интервалах.

Ультразвуковая экстракция является эффективным методом для извлечения фенольных соединений за более короткий интервал времени (с 90 мин до 30 при выходе >12 мг/г). При этом воздействие УЗ волн может оказывать деструктивное воздействие на флавоноиды, в связи с чем для их целевого извлечения предпочтительны более «щадящие» методы, такие как мацерация.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ опубликованных научных данных о методах экстракции и проведенный эксперимент дают основание полагать, что мацерация и ультразвуковая экстракция являются эффективными методами для извлечения фенольных соединений из семян брокколи. Длительная ультразвуковая обработка может негативно сказываться на экстракции флавоноидов, в связи с чем необходимо дальнейшее исследование влияния УЗ на данную группу биологически активных веществ в более коротких временных интервалах.

В дальнейшем перспективными направлениями исследований являются оценка влияния микроволн на степень извлечения фенолов, а также анализ антиоксидантной активности получаемых различными способами экстрактов. Полученные данные могут быть использованы при разработке новых видов функциональной пищевой продукции, обогащенной биологически активными веществами брокколи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tatipamula V.B., Kukavica B. Phenolic compounds as antidiabetic, anti-inflammatory, and anticancer agents and improvement of their bioavailability by liposomes. *Cell Biochem Funct.* 2021 Dec;39(8):926-944. Doi:10.1002/cbf.3667.
2. Bonta R.K. Dietary Phenolic Acids and Flavonoids as Potential Anti-Cancer Agents: Current State of the Art and Future Perspectives. *Anticancer Agents Med Chem.* 2020;20(1):29-48. Doi:10.2174/1871520619666191019112712.
3. Leri M., Scuto M., Ontario M.L., Calabrese V., Calabrese E.J., Bucciantini M., Stefani M. Healthy Effects of Plant Polyphenols: Molecular Mechanisms. *Int J Mol Sci.* 2020 Feb 13;21(4):1250. Doi:10.3390/ijms21041250.
4. Baenas N., Moreno D.A., García-Viguera C. Selecting Sprouts of Brassicaceae for Optimum Phytochemical Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2012;60(45), 11409–11420. Doi:10.1021/jf302863c.

5. Wang T.T., Schoene N.W., Milner J.A., Kim Y.S. Broccoli-derived phytochemicals indole-3-carbinol and 3,3'-diindolylmethane exerts concentration-dependent pleiotropic effects on prostate cancer cells: comparison with other cancer preventive phytochemicals. *Mol Carcinog.* 2012 Mar;51(3):244-56. Doi:10.1002/mc.20774.
6. Abbaoui B, Lucas C.R., Riedl K.M., Clinton S.K., Mortazavi A. Cruciferous Vegetables, Isothiocyanates, and Bladder Cancer Prevention. *Mol Nutr Food Res.* 2018 Sep;62(18). Doi:10.1002/mnfr.201800079.
7. Xu L., Nagata N., Ota T. Glucoraphanin: a broccoli sprout extract that ameliorates obesity-induced inflammation and insulin resistance. *Adipocyte.* 2018;7(3):218-225. Doi: 10.1080/21623945.2018.1474669.
8. Campos D., Chirinos R., Barreto O., Noratto G., Pedreschi R. Optimized methodology for the simultaneous extraction of glucosinolates, phenolic compounds and antioxidant capacity from maca (*Lepidium meyenii*). *Industrial Crops and Products, Vol. 49, August 2013, p. 747-754.* Doi:10.1016/j.indcrop.2013.06.021.
9. Melini V., Panfilì G., Fratianni A., Acquistucci R. Bioactive compounds in rice on Italian market: pigmented varieties as a source of carotenoids, total phenolic compounds and anthocyanins, before and after cooking. *Food chemistry.* March 2019, Vol.277, 119-127. Doi: 10.1016/j.foodchem.2018.10.053.
10. Темердашев З. А., Фролова Н. А., Кольчев И. А. Определение фенольных соединений в лекарственных растениях методом обращенно-фазовой ВЭЖХ // *Журн. аналит. химии.* 2011. Т. 66, No 4. С. 417–424.
11. Ahmad N.M., Abdullah J., Yusof N.A., Ab Rashid A.H., Abd Rahman S., Hasan M.R. Amperometric Biosensor Based on Zirconium Oxide/Polyethylene Glycol/Tyrosinase Composite Film for the Detection of Phenolic Compounds. *Biosensors (Basel).* 2016 Jun 29;6(3):31. Doi:10.3390/bios6030031.
12. Huang Y., Jansen O., Frédéric M., Mouithys-Mickalad A., Nys G., Servais A.C., Crommen J., Jiang Z., Fillet M. Capillary electrophoresis, high-performance liquid chromatography, and thin-layer chromatography analyses of phenolic compounds from rapeseed plants and evaluation of their antioxidant activity. *J Sep Sci.* 2019 Jan;42(2):609-618. Doi: 10.1002/jssc.201800712.
13. Saeed N., Khan M.R., Shabbir M. Antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts *Torilis leptophylla* L. *BMC Complement Altern Med* 12, 221 (2012). Doi:10.1186/1472-6882-12-221.
14. Sembiring E.N., Elya B., Sauriasari R. Phytochemical Screening, Total Flavonoid and Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Different Parts of *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb. *Pharmacognosy Journal.* 2018;10(1):123-127. Doi: 10.5530/pj.2018.1.22.
15. Carvalho D.G., Ranzan L., Trierweiler L.F., Trierweiler J.O. Determination of the concentration of total phenolic compounds in aged cachaça using two-dimensional fluorescence and mid-infrared spectroscopy. *Food Chem.* 2020 Nov 1; 329:127142. Doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127142.
16. Deng J., Xu Z., Xiang C., Liu J., Zhou L., Li T., Yang Z., Ding C. Comparative evaluation of maceration and ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from fresh olives. *Ultrason Sonochem.* 2017 Jul;37:328-334. Doi: 10.1016/j.ultsonch.2017.01.023.



17. Savic Gajic I., Savic I., Boskov I., Žerajić S., Markovic I., Gajic D. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Black Locust (*Robinia Pseudoacaciae*) Flowers and Comparison with Conventional Methods. *Antioxidants* (Basel). 2019 Jul 27;8(8):248. Doi:10.3390/antiox8080248.

18. Bodoira R., Velez A., Rovetto L., Ribotta P., Maestri D., Martinez M. Subcritical Fluid Extraction of Antioxidant Phenolic Compounds from Pistachio (*Pistacia vera* L.) Nuts: Experiments, Modeling, and Optimization. *J Food Sci.* 2019 May;84(5):963-970. Doi:10.1111/1750-3841.14507.

19. Zhao C.N., Zhang J.J., Li Y., Meng X., Li H.B. Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from *Melastoma sanguineum*. Fruit: Optimization and Identification. *Molecules.* 2018 Sep 29;23(10):2498. Doi: 10.3390/molecules23102498.

20. Макарова Н.В., Валиулина Д.Ф., Еремеева Н.Б. Сравнительные исследования методов извлечения биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами из косточек винограда (*Vitis vinifera* L.). *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология.* 2020. Т. 10. N 1. С. 140–148.

21. Макарова Н.В., Еремеева Н.Б. Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активность экстрактов плодов клюквы, облепихи, ежевики, жимолости, калины, рябины и можжевельника // «Инновации и продовольственная безопасность» No 3 (25). 2019. С.91-99.

22. Еремеева Н.Б., Макарова Н.В. Получение плодово-ягодных экстрактов с высокой антиоксидантной активностью при использовании ультразвукового излучения // *Известие вузов. Пищевая технология,* № 4, 2018. С.47-50.

23. Еремеева Н.Б., Макарова Н.В. Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активность экстрактов плодов черноплодной рябины // *Вестник МГТУ.* 2017. Т. 20, No 3. С. 600–608.

24. Li H., Wong C., Cheng K., Chen F. Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT — Food Science and Technology.* Vol.4, Issue 3, April 2008, p. 385-390. Doi:10.1016/j.lwt.2007.03.011.

25. Pajak P., Socha R., Galkowska D., Roznowski J., Fortuna T. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry.* Vol. 143, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.064>.

26. Апаева А.В., Ямансарова Э.Т., Куковинец О.С., Зворыгина О.Б. Влияние ультразвукового облучения на извлечение флавоноидов из зеленой массы гречихи. *Вестник Башкирского университета.* 2016. Т. 21. №1.

### Информация об авторах

Э. Р. Эминова — аспирант 2 года обучения факультета биотехнологий (ФБТ) Университета ИТМО; инженер ФБТ; сотрудник подразделения «Международный научный центр (МНЦ) «Биотехнологии третьего тысячелетия».

М. А. Хашим — аспирант 3 года обучения ФБТ Университета ИТМО.

О. Ф. Лунёва — магистрант 2 года обучения факультета биотехнологий (ФБТ) Университета ИТМО; инженер ФБТ; сотрудник подразделе-

ления МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

А. В. Жернякова — аспирант 1 года обучения факультета биотехнологий (ФБТ) Университета ИТМО; инженер ФБТ; сотрудник подразделения МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Д. А. Бараненко — к.т.н., доцент ФБТ Университета ИТМО; директор МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

### REFERENCES

1. Tatipamula, V.B. & Kukavica, B. (2021). Phenolic compounds as antidiabetic, anti-inflammatory, and anti-cancer agents and improvement of their bioavailability by liposomes. *Cell Biochem Funct.* Dec;39(8):926-944. Doi:10.1002/cbf.3667.

2. Bonta R.K. (2020). Dietary Phenolic Acids and Flavonoids as Potential Anti-Cancer Agents: Current State of the Art and Future Perspectives. *Anticancer Agents Med Chem.* 20(1):29-48. Doi:10.2174/1871520619666191019112712

3. Leri, M., Scuto, M., Ontario, M.L., Calabrese, V., Calabrese, E.J., Bucciantini, M. & Stefani M. (2020). Healthy Effects of Plant Polyphenols: Molecular Mechanisms. *Int J Mol Sci.* Feb 13;21(4):1250. Doi:10.3390/ijms21041250.

4. Baenas, N., Moreno, D.A. & García-Viguera, C. (2012). Selecting Sprouts of Brassicaceae for Optimum Phytochemical Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 60(45), 11409–11420. Doi:10.1021/jf302863c.

5. Wang, T.T., Schoene, N.W., Milner, J.A. & Kim Y.S. (2012). Broccoli-derived phytochemicals indole-3-carbinol and 3,3'-diindolylmethane exerts concentration-dependent pleiotropic effects on prostate cancer cells: comparison with other cancer preventive phytochemicals. *Mol Carcinog.* Mar; 51(3):244-56. Doi:10.1002/mc.20774.

6. Abbaoui, B, Lucas, C.R., Riedl, K.M., Clinton, S.K. & Mortazavi, A. (2018). Cruciferous Vegetables, Isothiocyanates, and Bladder Cancer Prevention. *Mol Nutr Food Res.* Sep;62(18). Doi:10.1002/mnfr.201800079.

7. Xu, L., Nagata, N. & Ota, T. (2018). Glucoraphanin: a broccoli sprout extract that ameliorates obesity-induced inflammation and insulin resistance. *Adipocyte.* 7(3):218-225. Doi: 10.1080/21623945. 2018.1474669.

8. Campos, D., Chirinos, R., Barreto, O., Noratto, G. & Pedreschi, R. (2013). Optimized methodology for the simultaneous extraction of glucosinolates, phenolic compounds and antioxidant capacity from maca (*Lepidium meyenii*). *Industrial Crops and Products,* (49), August, 747-754. Doi:10.1016/j.indcrop.2013. 06.021.

9. Melini, V., Panfili, G. Fratianni, A. & Acquistucci, R. (2019). Bioactive compounds in rice on Italian market: pigmented varieties as a source of carotenoids, total phenolic compounds and anthocyanins, before and after cooking. *Food chemistry.* March, Vol.277, 119-127. Doi: 10.1016/j.foodchem.2018.10.053.

10. Temerdashev, Z. A., Frolova, N. A. & Kolyichev, I. A. (2011). Opredeleniye phenolnykh soyedinenii v lekarstvennykh rasteniyakh metodom obraschenno-fazovoy VEZhKh. *Zhurn. analit. khimii.* 66(4), 417–424.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ СЕМЯН БРОККОЛИ

11. Ahmad, N.M., Abdullah, J., Yusof, N.A., Ab, Rashid, A.H., Abd, Rahman, S. & Hasan, M.R. (2016). Amperometric Biosensor Based on Zirconium Oxide/Polyethylene Glycol/Tyrosinase Composite Film for the Detection of Phenolic Compounds. *Biosensors (Basel)*, 6(3):31. Doi:10.3390/bios6030031.
12. Huang, Y., Jansen, O., Frédéric, M., Mouthys-Mickalad, A., Nys, G., Servais, A.C., Crommen, J., Jiang, Z. & Fillet, M. (2019). Capillary electrophoresis, high-performance liquid chromatography, and thin-layer chromatography analyses of phenolic compounds from rapeseed plants and evaluation of their antioxidant activity. *J Sep Sci*. 42(2):609-618. Doi: 10.1002/jssc.201800712.
13. Saeed, N., Khan, M.R. & Shabbir, M. (2012). Antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts *Torilis leptophylla* L. BMC Complement Altern Med. 12, 221. Doi:10.1186/1472-6882-12-221.
14. Sembiring, E.N., Elya, B. & Sauriasari, R. (2018). Phytochemical Screening, Total Flavonoid and Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Different Parts of *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb. *Pharmacognosy Journal*. 10(1):123-127. Doi: 10.5530/pj. 2018.1.22.
15. Carvalho, D.G., Ranzan, L., Trierweiler, L.F. & Trierweiler, J.O. (2020). Determination of the concentration of total phenolic compounds in aged cachaça using two-dimensional fluorescence and mid-infrared spectroscopy. *Food Chem.* 1.( 329), 127142. Doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127142.
16. Deng, J., Xu, Z., Xiang, C., Liu, J., Zhou, L., Li, T., Yang, Z. & Ding, C. (2017). Comparative evaluation of maceration and ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from fresh olives. *Ultrason Sonochem.* (37), 328-334. Doi: 10.1016/j.ultsonch. 2017.01.023.
17. Savic, Gajic I., Savic, I., Boskov, I., Žerajić, S., Markovic, I. & Gajic, D. (2019). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Black Locust (*Robinia Pseudoacaciae*) Flowers and Comparison with Conventional Methods. *Antioxidants (Basel)*. 27;8(8), 248. Doi:10.3390/antiox8080248.
18. Bodoira, R., Velez, A., Rovetto, L., Ribotta, P., Maestri, D., Martínez, M. (2019). Subcritical Fluid Extraction of Antioxidant Phenolic Compounds from Pistachio (*Pistacia vera* L.) Nuts: Experiments, Modeling, and Optimization. *J Food Sci.* 84(5):963-970. Doi:10.1111/1750-3841.14507.
19. Zhao, C.N., Zhang, J.J., Li, Y, Meng, X. & Li, H.B. (2018). Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from *Melastoma sanguineum*. Fruit: Optimization and Identification. *Molecules.* 29;23(10):2498. Doi: 10.3390/molecules23102498.
20. Makarova, N.V., Valiulina, D.F. & Yeremeeva, N.B. (2020). Sravnitelnyie issledovaniya metodov izvlecheniya biologicheskii aktivnyikh veschestv s antioksidantnymi svoystvami iz kostochek vinograda (*Vitis vinifera* L.). *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya I biotekhnologiya.* 10(1). 140–148. (In Russ.).
21. Makarova, N.V. & Yeremeeva, N.B. (2019). Vliyanie tekhnologii ekstraksii na antioksidantnyuyu aktivnost ekstraktov plodov klyukvy, oblepikhi, yezheviki, zhimolosti, kaliny, ryabiny i mozhzhevelnika. *Innovatsii i prodovolstvennaya bezopasnost.* (25), 91-99. (In Russ.).
22. Yeremeeva, N.B. & Makarova, N.V. (2018). Polucheniye plodovo-yagodnykh ekstraktov s vyisokoy antioksidantnoy aktivnostyu pri ispolzovanii ultrazvukovogo izlucheniya. *Izvestiya vuzov. Pischevaya tekhnologiya,* (4), 47-50. (In Russ.).
23. Yeremeeva, N.B. & Makarova, N.V. (2017). Vliyanie tekhnologii ekstraksii na antioksidantnyuyu aktivnost ekstraktov plodov chernoplodnoy ryabiny. *Vestnik MGTU.* 20, 3. 600–608. (In Russ.).
24. Li, H., Wong, C., Cheng, K. & Chen, F. (2008). Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT — Food Science and Technology.* 4(3), 385-390. Doi:10.1016/j.lwt.2007.03.011.
25. Pajak, P., Socha, R., Galkowska, D., Roznowski, J. & Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry.* (143), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.064>.
26. Apayeva, A.V., Yamansarova, E.T., Kukovinets, O.S. & Zvorygina, O.B. (2016). Vliyanie ultrazvukovogo oblučeniya na izvlecheniye flavonoidov iz zelenoy massyi grechikhi. *Vestnik Bashkirskogo universiteta.* 21(1). (In Russ.).

### Information about the authors

E. R. Eminova — the 2<sup>nd</sup> year PhD student at the Faculty of Biotechnology of ITMO University; engineer; researcher at the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium».

M. A. Hashim — the 3<sup>rd</sup> year PhD student at the Faculty of Biotechnology of ITMO University; engineer.

O. F. Lunyova — the 2<sup>nd</sup> year Master student; engineer; researcher at the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium».

A. V. Zhernyakova — the 1<sup>st</sup> year PhD student at the Faculty of Biotechnology of ITMO University; engineer; researcher at the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium».

D. A. Baranenko — PhD, Associate Professor at the Faculty of Biotechnology of ITMO University. Head of the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.



Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)  
УДК 66-96

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.018

 [EDN: ZYLSQW](https://elibrary.ru/zylsqw)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛОДОВ КАЛИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Владислав Андреевич Иванов<sup>1</sup>, Елена Валерьевна Лис<sup>2</sup>,  
Екатерина Викторовна Фибих<sup>3</sup>, Юлия Сергеевна Шимова<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика  
М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

<sup>1</sup> ivanov\_va@mail.sibsau.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6859-3971>

<sup>2</sup> 2243167@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2686-1891>

<sup>3</sup> fibichev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8211-5869>

<sup>4</sup> yuliya\_shimova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3184-0833>

**Аннотация.** Получение биологически активных веществ растительного происхождения из местного быстровозобновляемого сырья, несомненно, является актуальным для применения в различных отраслях промышленности. В качестве объекта исследования были выбраны плоды калины обыкновенной, широко произрастающая на территории Красноярского края и Сибирского федерального округа. В плодах калины обыкновенной содержится большое количество витаминов, полифенольных соединений, пектиновых, дубильных веществ, а также иридоидов. В ходе эксперимента было исследовано влияние продолжительности низкотемпературного хранения на сохранность биологически активных веществ в плодах. Установлено, что выбранный метод и условия пресервирования обеспечивают достаточную сохранность качественных и количественных показателей сырья. Было определено, что размороженные плоды дают больший выход жидкой фазы при получении сока. Сок, полученный из размороженного сырья, сохраняет аромат свежих ягод, имеет более интенсивную окраску и менее горький вкус сравнительно со свежесобранными ягодами, при этом, большая часть биологически активных соединений переходит в сок. Было изучено распределение биологически активных веществ калины при шнековом измельчении и последующем центрифугировании соков размороженных плодов. В соке обнаружено высокое содержание витамина С, витамина Р, антоцианов, дубильных веществ, сахаров, флавоноидов. Высокое содержание иридоидов отмечается в жоме. Это может быть обусловлено тем, что они относятся к спирторастворимым веществам, а основным компонентом сока является вода. Отмечается высокая сохранность биологически активных веществ при шнековом прессовании. Результаты исследований распределения БАВ при центрифугировании сока показывают, что большая часть антоцианов, флавоноидов и сахаров сохраняется в соке, основная масса иридоидов, дубильных веществ задерживается в осадке. Остальные вещества, обладающие биологической активностью, распределяются между фазами практически поровну.

Таким образом, жидкая фаза, получаемая при прессовании ягод, может использоваться для производства натурального сока с мякотью. При пастеризации с горячим розливом возможно получение осветленного натурального сока.

**Ключевые слова:** калина обыкновенная, биологически активные вещества, переработка, плоды, технологические факторы.

---

**Для цитирования:** Исследование технологических факторов при переработке плодов калины обыкновенной / В.А. Иванов [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 130 – 116. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.018. EDN: <https://elibrary.ru/zylsqw>.

---

Original article

## STUDY OF TECHNOLOGICAL FACTORS DURING PROCESSING OF VIBURNUM OPULUS FRUITS

Vladislav A. Ivanov<sup>1</sup>, Elena V. Lis<sup>2</sup>, Ekaterina V. Fibikh<sup>3</sup>  
Yulia S. Shimova<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup> ivanov\_va@mail.sibsau.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6859-3971>

<sup>2</sup> 2243167@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2686-1891>

<sup>3</sup> fibichev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8211-5869>

<sup>4</sup> yuliya\_shimova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3184-0833>

**Abstract.** *Obtaining bioactive substances of plant origin from local rapidly renewable raw materials is without doubt relevant for use in various industrial sectors. The fruits of Viburnum opulus which grows extensively in the Krasnoyarsk Territory and the Siberian Federal District were chosen as the object of the study.*

*Viburnum opulus fruits contain a large amount of vitamins, polyphenol compounds, pectins, tannins, as well as iridoids. During the experiment, the influence of the duration of low-temperature storage on the preservation of bioactive substances in the fruits was studied. It was established that the chosen method and preservation conditions ensure sufficient preservation of the qualitative and quantitative indicators of the raw material.*

*It was determined that defrosted fruits produce a higher yield of liquid phase when obtaining juice. Juice obtained from defrosted raw material retains the scent of fresh berries, has a more intense color and less bitter taste compared to freshly picked berries, while most of the bioactive compounds pass into the juice. The distribution of bioactive substances of Viburnum opulus during screw grinding and subsequent centrifugation of defrosted fruit juice was studied.*

*High content of vitamin C, vitamin P, anthocyanins, tannins, sugars and flavonoids was detected in the juice. The high content of iridoids was registered in the pulp. This may be due to the fact that they are alcohol-soluble substances, while the main component of the juice is water. High preservation of bioactive substances during screw pressing was registered.*

*The results of the study of the distribution of bioactive substances during juice centrifugation show that most of the anthocyanins, flavonoids and sugars are retained in the juice; the bulk of iridoids and tannins remain in the sediment. The remaining bioactive substances are distributed between the phases almost equally.*

*Thus, the liquid phase obtained by pressing berries can be used to produce natural juice with pulp. During pasteurization by hot filling, it is possible to obtain clarified natural juice.*

**Keywords:** *Viburnum opulus, bioactive substances, processing, fruits, technological factors.*

---

**For citation:** V. A., Ivanov, E. V., Lis, E. V., Fibikh & Yu. S., Shimova (2022). Study of technological factors during processing of viburnum opulus fruits. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 130-135. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.018. (In Russ.).

---

### ВВЕДЕНИЕ

Плоды многих растений и сами растения рассматриваются в настоящее время как жизненно необходимые продукты, поскольку служат источником биологически активных веществ (БАВ). Известно, что БАВ растений действуют мягче, чем синтетические аналоги, оказывают комбинированное влияние на организм и пригодны для длительного применения. Также следует отметить, что продукты

или препараты, изготовленные из местного растительного сырья, оказывают наибольший терапевтический эффект людям, проживающим на соответствующей территории [1,2].

Красноярский край является одним из регионов России, в котором широко распространена калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.). Её значение обусловлено полезными свойствами плодов, содержащих больше витаминов, чем многие другие плодовые культуры, зимостойкостью, устойчивостью к

болезням и повреждению вредителями, неприхотливостью к условиям произрастания, высокой и регулярной урожайностью. В ее плодах присутствуют полифенолы, сахара, гликозиды, органические кислоты, минеральные, пектиновые и дубильные вещества. Особый интерес вызывают иридоиды – одна из групп гликозидов, обладающих горьким вкусом и представляющих собой производные циклических монотерпенов. Их биологическая активность заключается в повышении аппетита, повышении секреции желудочного сока и стимуляции пищеварения. Кроме того, горькие гликозиды проявляют гормональную, мочегонную, седативную, транквилизирующую, гипотензивную, коронарно-расширяющую, спазмолитическую, антиаритмическую, антибиотическую и другие виды биологической активности [1-3].

Несмотря на большой интерес, проявляемый к переработке растительного сырья в настоящее время, основным недостатком существующих технологий является то, что из перерабатываемого растительного сырья извлекается ограниченное количество продуктов, в то время, когда значительная часть содержащихся в сырье БАВ остается неиспользованной [4,5].

Цель работы – исследование параметров переработки плодов калины обыкновенной для создания технологий получения комплекса продуктов, используемых в пищевой промышленности, медицине, сельском хозяйстве.

## МЕТОДЫ

Сбор сырья производился в Емельяновском районе Красноярского края на территориях, удаленных от промышленной зоны, в период зрелости, в сентябре, в сухую погоду. Снимались плоды кистями вручную. После сбора ягоды отделялись от плодоножек, удалялись испорченные плоды и другие примеси.

Свежесобранные плоды расфасовывались в герметичные полиэтиленовые пакеты и хранились в холодильной камере при температуре минус  $20 \pm 2$  °С.

Для установления влияния продолжительности хранения на сохранность БАВ определялось их содержание в ягодах в момент закладки и затем на протяжении всего периода хранения через каждые 20 суток.

Суммарное содержание иридоидов определялось спектрофотометрическим методом [6]

Определение витамина С проводилось титрометрическим методом [7].

Количественное определение суммы Р-активных соединений проводилось титрометри-

ческим методом, который основан на их способности окисляться перманганатом калия [7].

Содержание экстрактивных веществ определялось методом высушивания до постоянной массы [8].

Содержание дубильных веществ определялось титрометрическим методом Левенталя [9].

Суммарное содержание антоцианов определялось спектрофотометрическим методом [9].

Суммарное содержание флавоноидов определялось спектрофотометрическим методом [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Плоды калины можно перерабатывать с целью получения различных целевых продуктов – пюре, сока с мякотью и осветленного, экстрактов биологически активных веществ медицинского, пищевого, косметического назначения и порошков, также содержащих БАВ и пригодных к использованию в виде пищевых и кормовых добавок.

Первым этапом было исследование влияния холодильного хранения на содержание БАВ.

Содержание БАВ в плодах снижалось на протяжении всего периода хранения и спустя 120 суток потери витамина С составляли 25,35 % от исходного, дубильных веществ – 47,14 %, иридоидов – 21,60 %, витамина Р – 19,64 %, флавоноидов – 30,00 %, антоцианов – 23,29 %, сахаров – 13,18 %.

Подготовка плодов калины обыкновенной к экстрагированию может вестись с разделением ягод на сок и жом, что позволяет использовать сок как готовый продукт и одновременно обеспечить значительное снижение объема твердой фазы (за счет удаления влаги), увеличить плотность её укладки, а также сократить энергетические и эксплуатационные расходы на экстракцию БАВ и хранение жома, а также получать порошкообразные добавки путем утилизации после экстракционного шрота.

В большинстве случаев основная цель разделения – достижение как можно большего выхода сока. Если же после сокоотделения из твердой фазы экстрагируются сохраняющиеся в ней БАВ, то при отжиме влаги необходимо обеспечить максимальное разрушение структуры плодов, что позволит увеличить выход этих веществ и снизить продолжительность процесса извлечения. Учитывалось также, что для сохранения качества плоды хранились при отрицательных темпе-

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛОДОВ КАЛИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

ратурах. Поэтому, для определения наилучшего варианта измельчения, дроблению подвергались свежие, замороженные и размороженные плоды, так как, с одной стороны, предполагалось, что измельчение при отрицательных температурах ягод должно приводить к большему разрушению их структуры, а с другой, как это следует из литературных источников [10], сокоотдача из размороженных плодов больше. В таблице 1 приведены результаты, отражающие влияние прессования плодов на разделение.

Таблица 1 – Результаты разделения плодов калины при различном исходном состоянии

Table 1 – Results of *Viburnum opulus* fruits separation at a different initial state

Состояние плодов	Выход, % от массы исходного сырья		
	Сок	Жом	Потери
Свежие плоды	72 ± 3,3	26 ± 1,6	2 ± 0,1
Замороженные плоды	56 ± 2,7	41 ± 2,1	3 ± 0,1
Размороженные плоды	74 ± 3,7	24 ± 1,1	2 ± 0,1

Таблица 2 – Распределение биологически активных веществ калины при шнековом измельчении размороженных плодов

Table 2 – Distribution of bioactive substances of *Viburnum opulus* during screw grinding of defrosted fruits

Показатель	ягода	сок	жом	Потери, %
Иридоиды, % а.с.с.	3,480 ± 0,16	1,470 ± 0,06	2,150 ± 0,10	3,9 ± 0,19
Витамин С, % а.с.с.	0,084 ± 0,01	0,047 ± 0,01	0,035 ± 0,03	2,4 ± 0,11
Витамин Р, % а.с.с.	0,890 ± 0,01	0,662 ± 0,03	0,198 ± 0,01	3,4 ± 0,14
Антоцианы, % а.с.с.	2,890 ± 0,14	2,170 ± 0,10	0,619 ± 0,03	3,5 ± 0,12
Дубильные вещества, % а.с.с.	2,250 ± 0,11	1,285 ± 0,06	0,900 ± 0,03	2,9 ± 0,11
Сахара, % а.с.с.	14,91 ± 0,74	11,16 ± 0,55	3,628 ± 0,18	0,9 ± 0,03

Таблица 3 - Распределение БАВ при центрифугировании сока калины обыкновенной

Table 3 – Distribution of bioactive substances during centrifugation of *Viburnum opulus* fruit juice

Показатель	Сок	Осадок	Фугат
Иридоиды	1,470 ± 0,06	0,731 ± 0,34	0,650 ± 0,03
Витамин С	0,047 ± 0,01	0,022 ± 0,01	0,023 ± 0,01
Р-активные вещества	0,662 ± 0,02	0,305 ± 0,01	0,352 ± 0,01
Антоцианы	2,170 ± 0,10	0,900 ± 0,03	1,250 ± 0,05
Флавоноиды	0,235 ± 0,01	0,093 ± 0,02	0,139 ± 0,01
Дубильные вещества	1,285 ± 0,05	0,790 ± 0,02	0,495 ± 0,02
Сахара	11,160 ± 0,51	4,560 ± 0,21	6,500 ± 0,31

Как видно, наибольший выход жидкой фазы 74 % имеет место при прессовании размороженных плодов, несколько ниже он – 72 % из свежих ягод, а при измельчении замороженных он понижается в 1,3 раза и составляет 56 % от массы исходного сырья, что может быть связано с процессом коагуляции слизистых компонентов, который затрудняет прессование [10].

Наряду с отделением сока, при прессовании плодов большой интерес представляют сведения о сохранности БАВ калины в ходе процесса и их распределение между твердой и жидкой фазами.

Результаты изучения этого вопроса представлены в таблице 2.

Получаемый при разделении сок, содержащий взвесь, может быть одним из готовых продуктов. Присутствие взвешенных частиц в соке ухудшает стойкость готового продукта. По этой причине представляла интерес оценка количественных показателей контролируемых веществ в фазах. Результаты представлены в таблице 3.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что содержания БАВ в сырье постепенно снижаются и составляют спустя 4 месяца 52,86 – 86,82 % от исходного. Это свидетельствует о том, что выбранный метод и условия пресервирования обеспечивают достаточную сохранность качественных и количественных показателей сырья.

Размороженные плоды дают больший выход жидкой фазы в виду того, что при заморозке у свежей ягоды разрушается клеточная структура, что и облегчает сокоотдачу при переработке. Сок, полученный из размороженного сырья, сохраняет аромат свежих ягод, имеет более интенсивную окраску и менее горький вкус сравнительно со свежесобранными ягодами, при этом, большая часть

биологически активных соединений переходит в сок.

Данные, полученные в результате эксперимента свидетельствуют, что большая часть БАВ переходит в сок. В соке в процентах от содержания в исходном сырье в жидкой фазе оказалось витамина С 55,95 %, витамина Р 74,38%, антоцианов 75,09 %, дубильных веществ 57,11%, сахаров 74,85 %, флавоноидов 65,28 %. Однако иридоиды ведут себя противоположным образом. 61,78 % иридоидов находится в жоме. Это, скорее всего, связано с тем, что они относятся к спирторастворимым веществам, а основным компонентом сока является вода (влажность 90 %). Следует также отметить, что при шнековом прессовании биологически активные вещества ягод практически полностью сохраняются. Среднее значение потерь равно 2,47 %.

Результаты исследований распределения БАВ при центрифугировании сока показывают, что большая часть антоцианов, флавоноидов и сахаров сохраняется в соке, основная масса иридоидов, дубильных веществ задерживается в осадке. Остальные вещества, обладающие биологической активностью, распределяются между фазами практически поровну.

Таким образом, жидкая фаза, получаемая при прессовании ягод, может использоваться для производства натурального сока с мякотью. При пастеризации с горячим розливом возможно получение осветленного натурального сока

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что плоды калины обыкновенной, произрастающие в Красноярском крае, являются перспективным сырьем для получения продуктов, обогащенных биологически активными веществами, в том числе иридоидами и фенольными веществами.

Определено, что динамика БАВ в плодах при хранении в условиях отрицательных температур идентична их поведению в другом растительном сырье [11].

При исследовании влияния методов и режимов дробления ягод установлено, что с целью максимального извлечения сока целесообразно использовать свежие или размороженные плоды;

На основе полученных результатов разработана композиция ингредиентов на основе сока калины, подтвержденная патентом РФ № 2372798.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение элементного состава плодов калины обыкновенной и рябины обыкновенной различными современными методами / В.Ю. Андреева [и др.] // Химия растительного сырья. 2016. №1. С. 177-180. doi: 10.14258/jcprm.201601893.
2. Биологически активные вещества плодов калины обыкновенной / И. Б. Перова [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. 2014. Том 48. № 5. С 32-39. doi: 10.1016/j.jsps.2011.08.006.
3. Жбанова Е.В., Масленников А.И. Оценка сортов калины по качественным показателям и биохимическому составу плодов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2015. № 1. С. 11-14.
4. Оценка функциональных свойств малоиспользуемого местного растительного сырья и продуктов его переработки / В.Ф. Винницкая [и др.] // Вестник Мичуринского Государственного Аграрного Университета, 2017. № 3 С. 112-118.
5. Попова Е.И, Винницкая В.Ф. Пищевая ценность плодов и листьев калины и перспективы использования их в производстве функциональных продуктов // Вестник Мичуринского Государственного Аграрного Университета. 2012. № 1, ч. 1. С. 223-226.
6. Федосеева Л. В., Попов Д.М. Количественное определение иридоидов в коре пустырника // Фармация. 1997. №4 С. 18 – 21.
7. Евтухова О.М., Теплюк Н.Ю., Шемберг М.А. Индивидуальная изменчивость морфологических и химических признаков калины обыкновенной // Химия растительного сырья. 2003. №4. С. 43-46.
8. Блейз А. Энциклопедия орехов и диких ягод. М.: ОЛМА-Пресс. 2000 г. 336.с.
9. Кьосев П. А. Полный справочник лекарственных растений. М.: ЭксмоИздат, 2004.-992 с
10. Короткий И.А. Исследование и разработка технологий замораживания и низкотемпературного хранения плодово-ягодного сырья Сибирского региона: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 2009. 42 с.
11. Захаров В.Л., Нархова А. Влияние замораживания на сохранность БАВ в плодах и ягодах дикорастущих растений // Агропромышленные технологии центральной России. 2020. № 1. С. 21-30.

## REFERENCES

1. Andreeva, V.Yu. et al. (2016). Study of ultimate composition of *Viburnum opulus* fruits and *Sorbus aucuparia* by various modern methods. *Chemistry of Plant Raw Materials*, (1), 177-180. doi: 10.14258/jcprm.201601893. (In Russ.).
2. Perova, I.B. et al. (2014). Bioactive substances of *Viburnum opulus* fruits. *Chemical and Pharmaceutical Journal*. 48 (5). 32-39. doi: 10.1016/j.jsps.2011.08.006. (In Russ.).
3. Zhanova, E.V. & Maslennikov, A.I. (2015). Evaluation of *Viburnum opulus* varieties based on qualitative indicators and biochemical composition of their fruits. *Michurinsk State Agrarian University Bulletin*. (1), 11-14. (In Russ.).

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛОДОВ КАЛИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

4. Vinnitskaya, V.F. et al. (2017). Evaluation of functional properties of minor local raw materials of plant origin and their derivative products. *Michurinsk State Agrarian University Bulletin*. (3), 112-118. (In Russ.).
5. Popova, E.I. & Vinnitskaya, V.F. (2012). Nutrition value of *Viburnum opulus* fruits and leaves and prospects of their use in production of functional products. *Michurinsk State Agrarian University Bulletin*, 1(1), 223-226. (In Russ.).
6. Fedoseyeva, L.V. & Popov, D.M. (1997). Quantitative determination of iridoids in *Leonurus* bark. *Pharmaceutics*. (4), 18-21. (In Russ.).
7. Evtukhova, O.M., Teplyuk, N.Yu. & Shemberg, M.A. (2003). Individual variation of morphological and chemical characteristics of *Viburnum opulus*. *Chemistry of Plant Raw Materials*, (4), 43-46. (In Russ.).
8. Bleiz, A. (2000). *Encyclopedia on nuts and wild berries*. Moscow: OLMA-Press. (In Russ.).
9. Kyosev, P.A. (2004). *Full guide on medicinal plants*. Moscow: EksMOizdat. (In Russ.).
10. Korotkhikh, I.A. (2009). Study and development of technology of freezing and low-temperature storage of fruit and berry raw materials of Siberian region. *Extended abstract of Doctor of Technical Sciences dissertation*. Kemerovo. (In Russ.).
11. Zakharov, V.L. & Narkhova, A. (2020). Effect of freezing on preservation of bioactive substances in fruits and berries of wild plants. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, (1), 21-30. (In Russ.).

### **Информация об авторах**

**В. А. Иванов** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленной экологии, процессов и аппаратов химических производств» Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева.

**Е. В. Лис** – кандидат химических наук, доцент кафедры «Промышленной экологии,

процессов и аппаратов химических производств» Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева.

**Е. В. Фибих** – кандидат философских наук, доцент кафедры «Делового иностранного языка» Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева.

**Ю. С. Шимова** – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химической технологии древесины и биотехнологии» Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева.

### **Information about the authors**

**V. A. Ivanov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology, Chemical Industry Processes and Equipment of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology.

**E. V. Lis** – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology, Chemical Industry Processes and Equipment of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology.

**E. V. Fibikh** – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Business Foreign Languages Department of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology.

**Yu. S. Shimova** – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Wood Engineering and Bioengineering of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*





Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 664.664.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.019



## РАЗРАБОТКА ВЫСОКОБЕЛКОВЫХ ЧИПСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Попов Владимир Григорьевич<sup>1</sup>, Кузьмин Станислав Валерьевич<sup>2</sup>,  
Мозжерина Ирина Васильевна<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Тюменский Индустриальный Университет, Тюмень, Россия

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

<sup>2</sup> stas45info97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1705-9386>

<sup>3</sup> mozzherinaiv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1449-8690>

**Аннотация.** Данная статья содержит подробное описание подбора основного и дополнительного сырья с целью разработки оптимальной рецептуры нового функционального продукта. Основным сырьем является «ротан – головешка», численность данного вида рыбы в водоемах Тюменской области достигает критических точек, что грозит исчезновением для других видов рыб. Ротан, поедая мальков ценных пород рыб, наносит колоссальный вред рыбоводству, следовательно производство чипсов в промышленных масштабах частично позволит решить эту проблему. В качестве дополнительного сырья планируется использовать рапсовый изолят, полученный из отходов производства рапсовой культуры

Статья является продолжением обзорной статьи, расширяет и дополняет работу «Актуальность разработки рецептур и технологий производства рыборастворимых чипсов из нетрадиционного рыбного сырья», содержит конкретные данные по целесообразности и способе использования сырья [8].

**Ключевые слова:** вторичное сырье, нетрадиционное сырье, рыбный продукт, белок, переработка рапсового жмыха, сокращение численности ротана.

---

**Для цитирования:** Попов, В. Г., Кузьмин С. В., Мозжерина И. В. Разработка высокобелковых чипсов с использованием нетрадиционного сырья Тюменской области // Ползуновский вестник. №3, 2022. С. 136 – 143. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.019. EDN: <https://elibrary.ru/qrynmm>.

---

Original article

## DEVELOPMENT OF HIGH-PROTEIN CHIPS USING NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS OF TYUMEN REGION

Vladimir G. Popov<sup>1</sup>, Stanislav V. Kuzmin<sup>2</sup>, Irina V. Mozzherina<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

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

<sup>2</sup> stas45info97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1705-9386>

<sup>3</sup> mozzherinaiv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1449-8690>

**Abstract.** This article contains a detailed description of the selection of the main and additional raw materials in order to develop the optimal formulation of a new functional product. The main raw material is "rotan - firebrand", the number of this species of fish in the reservoirs of the Tyumen region reaches critical points, which threatens with extinction for other fish species. Rotan, eating fry of valuable fish species, causes enormous harm to fish farming, therefore, the production of chips on an industrial scale will partially solve this problem. As an additional raw material, it is planned to use rapeseed isolate obtained from rapeseed production waste.

The article is a continuation of the review article, expands and supplements the work "Relevance of the development of recipes and technologies for the production of fish and vegetable chips from non-traditional fish raw materials", contains specific data on the feasibility and method of using raw materials [8].

**Keywords:** secondary raw materials, non-traditional raw materials, fish product, protein, processing of rapeseed cake, reduction in the number of rotan.

---

**For citation:** Popov, V. G., Kuzmin, S. V. & Mozzherina, I. V. (2022). Development of high-protein chips using non-traditional raw materials of Tyumen region. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 136-143. (In Russ.).doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.019.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Суточное потребление белка современного человека зачастую не соответствует норме. Целью данной разработки является восполнить недостаточность в рационе полноценного белка путем внесения в рыбный фарш из ротана добавки в виде изолята из рапсового жмыха.

Актуальность данной разработки заключается в создании чипсов из ротана головешки с внесением добавки в виде изолята белка рапсового жмыха, используемого в качестве переработки рапсовых отходов. Полученный новый вид снековой продукции сможет полностью удовлетворить суточную потребность человека в белке.

Задачей данной разработки является отбор основного и дополнительного сырья по всем показателям качества, безопасности, а также целесообразности его применения с целью разработки технологии производства функционального продукта и последующей оценке его органолептических свойств, пищевой и биологической ценности.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основной идеей разработки является решение проблемы дефицита белка, сокращение популяции ротана головешки в водоемах Тюменской области и переработки рапсового шрота на предприятиях по производству растительного масла из рапсовой культуры.

В качестве основного сырья для разработки продукта с повышенным содержанием белка была выбрана рыба ротан - головешка (*Percottus glenii*), в пользу обоснования выбора как основного сырья можно сказать о том, что в прудовом хозяйстве ротан наносит большой вред рыбоводству, поедая мальков ценных пород рыб.

Ареал обитания ротана в Тюменской области не имеет четко обозначенных границ, постоянно расширяется в связи с большим количеством озёр заморного типа, которые являются для ротана благоприятными. За последние несколько лет его расселение в водоемах юга Тюменской области стало неконтролируемым, что отражено на рисунке 1.

Ротан встречается в пойменных водоемах

на всем протяжении Верхней Оби. Северной границей его распространения (по литератур-

ным данным Трофимовой П.Б.) является Сургутский район.

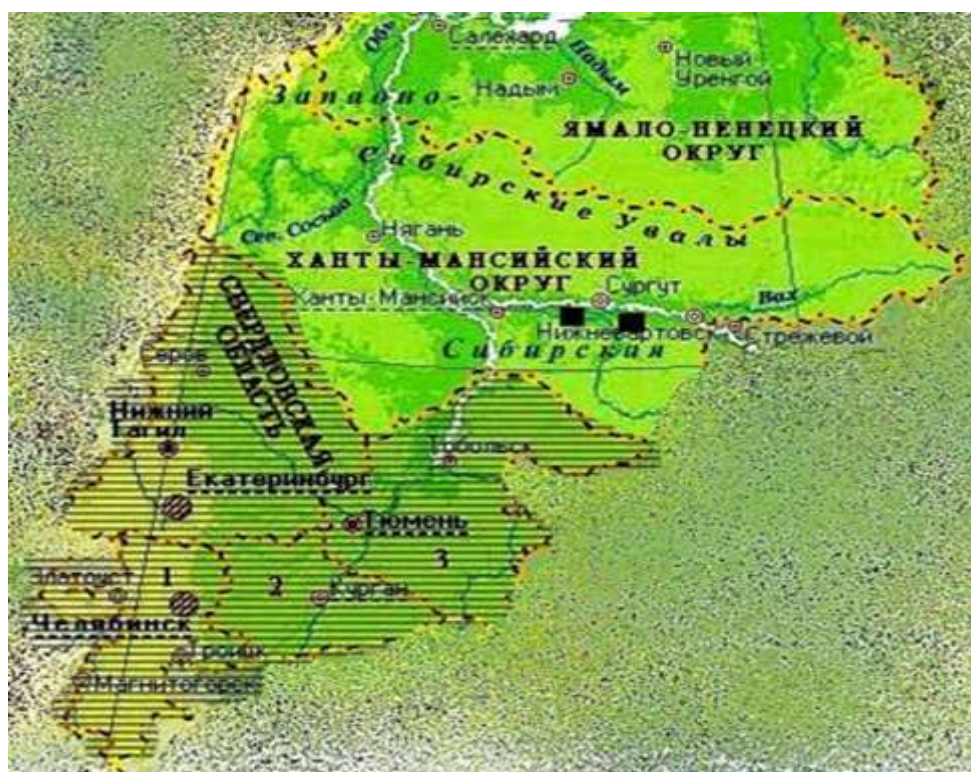


Рисунок 1 - Ареал обитания ротана в Уральском федеральном округе: – места встречаемости ротана; заштрихованная область – область УрФО

Figure 1 - Area of rotan in the Urals Federal District: - places of occurrence of rotan; the shaded area is the region of the Ural Federal District

В озерах и реках Тюменской области ротан более крупный и упитанный. Его мясо плотное, бело-розового цвета, с небольшим количеством крупных костей.

Плодовитость самок (количество икринок в допустимых пределах) ротана головешки в зависимости от месяца (июнь, август, ноябрь) указана в таблице 1.

Таблица 1 - Плодовитость самок ротана головешки на июнь, август и ноябрь

Table 1 - Fertility of female sleeper sleeper for June, August and November

Возраст	Плодовитость (lim) Июнь	Плодовитость (lim) Август	Плодовитость (lim) Ноябрь
годовики	1464 (357 - 1859)	1122 (282 - 2830)	587 (189 - 843)
двухгодовики	1535(1102 - 1985)	1328 (332 - 3294)	456 (174 - 989)
трехгодовики	3812(3269 - 4834)	3615 (2158 - 5078)	1200 (938 - 1788)

Данные таблицы 1 подтверждают максимальную плодовитость ротана – головешки в июне месяце. Отлов ротана целесообразно проводить в этот период, так как нерест данного вида рыбы достигает своего пика, что позволит производить вылов в промышленных масштабах [10].

Для исследования морфологических признаков Ротана – головешки нами было отобрано 15 образцов в соответствии с Гост

31339 – 2006. Рыба, нерыбные объекты и продукция из них, правила приемки и методы отбора проб. Отловленные сеголетки ротана-головешки были разбиты на размерные группы: 10 - 14 мм, 15 - 19 мм, 20 - 24 мм, 25 - 29 мм, 30 - 34 мм, 35 - 39 мм, 40 - 44 мм. Анализируя размерные характеристики ротана головешки, мы пришли к выводу, что для массового производства чипсов следует использовать размерные группы от 35-39 мм и 40-44 мм.

## РАЗРАБОТКА ВЫСОКОБЕЛКОВЫХ ЧИПСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Белок рапса имеет повышенный интерес среди специалистов в области питания, однако использование такого источника белка ограничено в силу антипитательных веществ (глюкозинолаты, эруковая кислота, танины, полифенолы, фитиновая кислота, кротониловое масло, тиогликозиды) имеющие наибольшую значимость из которых – тиогликозиды – это предшественники соединений, вызывающих нежелательный вкус, а также приводящих к расстройству функции щитовидной железы. В настоящий момент проблема решается при помощи выведения современных селекционных сортов и гибридов рапса с низким содержанием антипитательных веществ, что соответственно позволяет рассматривать его семена как перспективный источник раститель-

ного масла, а жмых и шрот – как дополнительный источник пищевого белка [2,4].

Таким образом, можно предположить, что рапсовый жмых может послужить новейшим источником растительного белка при разработке биологически полноценных обогащённых незаменимыми нутриентами рациона инновационных продуктов нового поколения в соответствии с принципами пищевой комбинаторики.

По мнению авторов Иваненко А. С., Созонова А. Н., Старых А. И., Содержание протеина в рапсовой культуре «Авангард» соответствует требованиям ГОСТ 30257-95, а рапсовые культуры «Визит» и «Ратник» имеют более низкое содержание протеина, что отражено в таблице 2 [2,3].

Таблица 2 - Содержание протеина, а также белка и клетчатки в % в составе рапсового шрота культур вида «Авангард», «Визит», «Ратник», %

Table 2 - The content of protein, as well as protein and fiber in% in the composition of rapeseed meal of crops of the type «Avangarde», «Visit», «Ratnik», %

Наименование вида рапсовой культуры	Содержания протеина в % в пробе 10 г	Содержание белка в %	Содержание клетчатки в %	Фактические показатели от общего состава, % в пробе 10 г
Авангард	37	от 29 до 45,3 %	от 10,3 до 15 %	41
Визит	31	от 29 до 45,3 %	от 10,3 до 15 %	33
Ратник	29	от 29 до 45,3 %	от 10,3 до 15 %	31

В качестве дополнительного сырья был выбран вид рапса «Авангард» в силу наибольшего содержания протеина в его составе.

Также дополнительным сырьем еще использовали амарантовую муку. Существует несколько причин, по которым мука из этого семени так высоко ценится. Во-первых, наличие в ней уникального активного вещества – сквалена. Клинические исследования подтверждают антиканцерогенное и укрепляющее действие этого вещества на организм человека. Попадая в кровь, сквален улучшает клеточное дыхание и ускоряет синтез ценных микроэлементов в органах. Во-вторых, незаменимая аминокислота лизин в составе муки оказывает противовирусное и заживляющее действие на возможные повреждения в организме и способствует лучшему усвоению белка. Концентрация этой аминокислоты в амаранте в несколько раз выше, чем в пшенице. В-третьих, фосфолипиды и витамин Е оказывают мощное антиоксидантное действие на системы внутренних органов и отвечают за поддержание иммунитета [11].

Анализ уровня потребления пищевых продуктов населением Тюменской области за

период с 2020 по 2021 г. позволил отметить положительную динамику по ряду моментов: увеличение потребления на душу населения рыбы и рыбопродуктов. Исходя из данных управления федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу (Тюменьстат), можно сделать вывод о том, что потребление рыбы и рыбопродуктов имеет наименьший объем в общем потреблении продукции на душу населения [16].

Исходя из данных документа «Объем общих допустимых уловов водных биологических ресурсов во внутренних водах Тюменской области» прирост улова ротана значительно выше улова других видов рыб, что говорит о повышении его численности [9].

Прирост улова рыбы представлен на рисунке 2.

В ходе разработки инновационного продукта основное сырье было идентифицировано визуальным, органолептическим, аналитическим методом определяли паразитологические, гигиенические и микробиологические показатели. Исходя из полученных данных,

можно сделать вывод о том, что в рыбном фарше из ротана паразитологические, гигиенические и микробиологические показатели

качества и безопасности не превышают допустимых норм. [7].

Химический состав готовой продукции представлен в таблице 3.

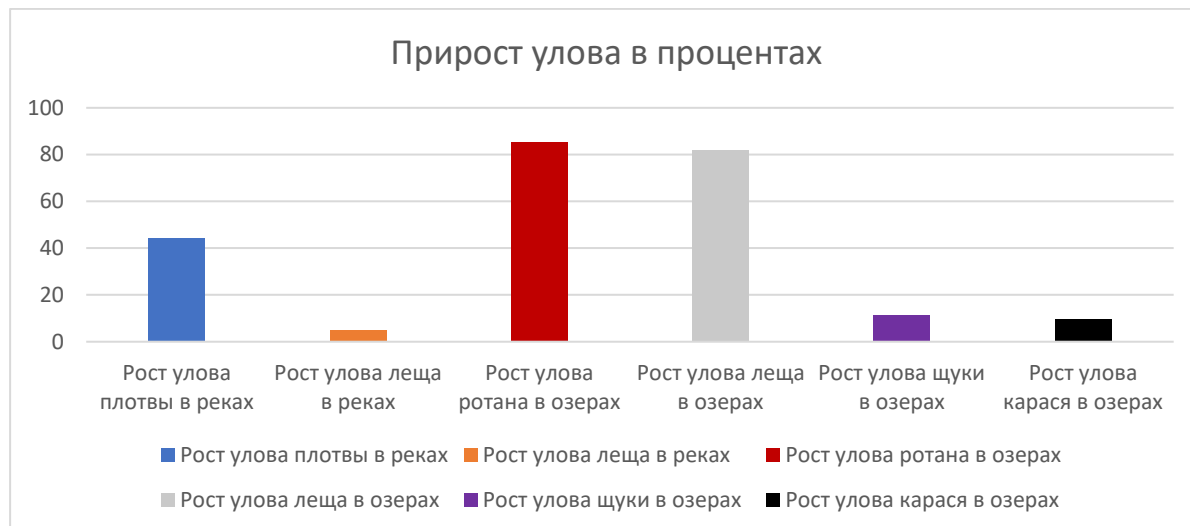


Рисунок 2 – прирост улова в водоемах Тюменской области

Figure 2 - increase in catch in water bodies of the Tyumen region

Таблица 3 – Химический состав готового продукта (чипсов из ротана «Фишепсы») на 100 г

Table 3 - Chemical composition of the finished product (chips from rotan "Fishepsy") per 100 g

Нутриенты	Фарш из ротана (64 г)	Изюл-лят рапса (25 г)	Мука амаранта (10 г)	Соль йодированная (1 г)	Итого	Норма потребления	% от нормы потребления
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Пищевая ценность</b>							
ЭЦ, (кКал)	54,56	83,75	37,4	0	175,7	2550	6,8
Белки (г)	10,85	22	2	0	34,85	115	30,3
Жиры (г)	1,24	0,85	0,4	0	2,49	85	2,9
Углеводы (г)	0	0	6,5	0	6,5	332	1,95
<b>Витаминный состав</b>							
А, РЭ (мкг)	6,2	0	0	0	6,2	900	0,68
В1, (мг)	0,0682	0,044	0,012	0	0,12	1,5	8,28
В2, (мг)	0,0868	0,025	0,02	0	0,13	1,8	7,32
В6, (мг)	0,1178	0,025	0,059	0	0,2	2	10,0
В9, (мкг)	5,456	44	8,2	0	57,6	400	14,414
С, (мг)	0,992	0	0,42	0	1,4	90	1,56
D, (мкг)	1,55	0	0	0	1,55	10	15,5
Е, (мг)	0,434	0	0,119	0	0,553	15	3,68
РР, (мг)	1,86	0,3595	0,0923	0	2,3118	20	11,55
<b>Макроэлементы</b>							
К (мг)	161,2	20,25	50,8	0,09	232,52	2500	9,3

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОБЕЛКОВЫХ ЧИПСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Продолжение таблицы 3 / Table 3 continued

1	2	3	4	5	6	7	8
Ca (мг)	24,8	44,5	15,9	3,8	96,24	1000	9,6
Mg (мг)	21,7	9,75	24,8	0,22	56,91	400	14,22
Na (мг)	24,8	251,25	0,4	387	774	1300	55
Ph (мг)	124	194	55,7	0,76	376	800	47
Микроэлементы							
I (мкг)	3,1	0	0	20	23,1	150	15,06

Исходя из данных таблицы 3 готовый продукт имеет повышенное содержание белка от суточной нормы – 30 %, что является главной целью разработки продукта, витамина D – 15 %, натрия – 55 %, фосфора – 47 %, а также йода – 15 % от рекомендуемой суточной нормы.

В конечном продукте использована следующая технология: приемка рыбы осушивается при температуре воздуха 15 °С, далее происходит мойка и разделка рыбы при температуре воды 15 °С с помощью рыбоочистительной машины «Fishdeheader SN: 2388». После первичной обработки полученное сырье проходит прессование на неопрессе (SZC – 2000). Далее сырье перемешивается и добавляется йодированная соль и мука амаранта (в качестве структурообразующего вещества), перемешивание происходит в течении 30 минут, после чего происходит дозированное введение белкового изолята рапса.

Полученную массу обрабатывают острым паром (пароконвектомат «retigo O2011b version 2») в течении 30 минут. Далее происходит формование полученной массы на противни, охлаждение (8 °С) и выдержка (8 ч) при помощи стеллажей и холодильника.

Финальным этапом является резка на пластины (аппарат формовочный), сушка в искусственных условиях («infrared 10» t = 35 – 60 °С) и хранение в течении 3 месяцев при температуре около 25 °С.

Для определения конкурентоспособности рыбных чипсов была проведена бальная оценка по органолептическим показателям. Максимальное количество баллов по каждому показателю было установлено 5 (пять). По итогам внешний вид получил оценку – 4, вкус, запах и структура – 5, излом – 4, поверхность – 3, рисунок – 4.

Оценка продукта представлена рисунке 3.



Рисунок 3 – Бальная оценка исследования рыбных чипсов по органолептическим показателям

Figure 3 - Scoring of the study of fish chips according to organoleptic indicators

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нами были рассмотрены основные ингредиенты проектируемых рыбных чипсов, целесообразность использования которых подтверждается вышеуказанными

данными, а также рассмотрены показатели качества и безопасности готового продукта.

Наша разработка направлена на решение проблемы дефицита суточного рациона полноценного комбинированного белка.

Параллельно производство функциональных рыборастворительных чипсов позволит решить проблему возросшей популяции ротана головешки в водоемах Тюменской области и переработки массовых отходов рапсового шрота. На данный момент он утилизируется в огромных количествах со всеми сопутствующими издержками. Полученные высокобелковые чипсы могут выступать в качестве импортозамещающего продукта, так как состоят полностью из отечественного сырья.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В.Г. Теоретико-методологические подходы к разработке и практическому применению функциональных напитков для школьного питания: дис. д-ра техн. наук: 05.18.15 / Тюменский гос. нефтегазовый университет; КемТИПП. Кемерово: КемТИПП; 2014. 420 с.

2. Иваненко А.С., Созонова А.Н., Старых А.И. Белково-масличные культуры - рапс и соя - в лесостепи Тюменской области // Вестник Курганской ГСХА. 2009. № 1. С. 7 - 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/belkovo-maslichnye-kultury-raps-i-soya-v-lesostepi-tyumenskoj-oblasti/viewer> (дата обращения 04.05.2022).

3. ГОСТ 30257-95. Шрот рапсовый тостированный. Технические условия. Дата введения 01.07.1996, принят межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 26.04.1995, № протокола 7-95. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022962> (дата обращения 04.05.2022).

4. Изолят белка рапса - альтернатива сое при переработке рыбной продукции на основе пищевой комбинаторики / Глотова И.А. [и др.] // Пищевая промышленность, 2017, № 11, С. 40 - 43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izolyat-belka-rapsa-alternativa-soe-pri-pererabotke-rybnoy-produktsii-na-osnove-pischevoy-kombinatoriki/viewer> (дата обращения 04.05.2022).

5. Пресноводные рыбы России. [Сайт и база данных]. URL: [https://www.zin.ru/animalia/pisces/rus/taxbase\\_r/species\\_r/perccottus/perccottus\\_glenii.pdf](https://www.zin.ru/animalia/pisces/rus/taxbase_r/species_r/perccottus/perccottus_glenii.pdf) (дата обращения 04.05.2022).

6. Шемонаев Е.В., Кириленко Е.В. Некоторые черты биологии сеголетков ротана – головешки. Авторы: Е.В. Материалы международной конференции «Экологические проблемы бассейнов крупных рек». 2018, С. 128 - 129. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-cherty-biologii-segoletkov-rotana-goloveshki-v-poymennozere-np-samarskaya-luka> (дата обращения 04.05.2022).

7. ТР ЕАЭС 040/2016. Технический регламент Евразийского экономического союза "О безопасности рыбы и рыбной продукции". Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 18 октября 2016 года N 162. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420394425>. (дата обращения 04.05.2022).

8. Кузьмин С. В., Попов В. Г., Мозжерина И. В.

Актуальность разработки рецептур и технологий производства рыборастворительных чипсов из нетрадиционного рыбного сырья // Ползуновский вестник. 2021. № 3. С. 163–169. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.022.

9. Материалы, обосновывающие объем общих допустимых уловов водных биологических ресурсов во внутренних водах Тюменской области. 2020 [Сайт]. URL: [http://www.vniro.ru/files/odu\\_filial/grc\\_materialy-odu.pdf](http://www.vniro.ru/files/odu_filial/grc_materialy-odu.pdf) (дата обращения 04.05.2022).

10. Общебиологический анализ разных половозрастных групп ротана из Бердского пруда [Сайт]: URL: [https://studbooks.net/794436/estestvoznanie/sobstvennye\\_issledovaniya](https://studbooks.net/794436/estestvoznanie/sobstvennye_issledovaniya) (дата обращения 04.05.2022).

11. Амарантовая мука – применение и полезные свойства // Royal-Forest [Официальный сайт]: URL: [https://royal-forest.ru/blog/poleznye\\_svoystva\\_amarantovoy\\_muki/](https://royal-forest.ru/blog/poleznye_svoystva_amarantovoy_muki/) (дата обращения 04.05.2022).

## Информация об авторах

В. Г. Попов – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой товароведения и технология продуктов питания, Тюменский Индустриальный Университет.

С. В. Кузьмин – магистрант кафедры «Товароведения и технологии продуктов питания (профиль пищевая биотехнология)», Тюменский Индустриальный Университет.

И. В. Мозжерина – доцент кафедры «Товароведения и технологии продуктов питания», Тюменский Индустриальный Университет.

## REFERENCES

1. Popov, V.G. (2014). Theoretical and methodological approaches to the development and practical application of functional drinks for school meals. *Candidate's thesis*. Kemerovo: KemTIPP. (In Russ.).

2. Ivanenko, A.S., Sozonova, A.N. & Starykh, A.I. (2009). Protein-oil crops - rapeseed and soybeans - in the forest-steppe of the Tyumen region. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. (1), 7 - 9. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/belkovo-maslichnye-kultury-raps-i-soya-v-lesostepi-tyumenskoj-oblasti/viewer>. (In Russ.).

3. Toasted rapeseed meal. Specifications. HOST 30257-95 from 1 Yuli 1995. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200022962> (In Russ.).

4. Glotova, I.A., Manzhosov, V. I., Kurchaeva, E. E., Kubasova, A. N., Sysoeva, M. G. & Mukhina, E. Yu. (2017). Rapeseed protein isolate - an alternative to soy in the processing of fish products based on food combinatorics. *Food industry*. (11), 40-43. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/izolyat-belka-rapsa-alternativa-soe-pri-pererabotke-rybnoy-produktsii-na-osnove-pischevoy-kombinatoriki/viewer> (In Russ.).

5. Habitat of rotan – firebrands. Website. Retrieved from [https://www.zin.ru/animalia/pisces/rus/taxbase\\_r/species\\_r/perccottus/perccottus\\_glenii.pdf](https://www.zin.ru/animalia/pisces/rus/taxbase_r/species_r/perccottus/perccottus_glenii.pdf) (In Russ.).

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022

## РАЗРАБОТКА ВЫСОКОБЕЛКОВЫХ ЧИПСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

6. Shemonaev, E.V. & Kirilenko, E.V. (2018). Some features of the biology of rotan underyearlings are firebrands. Materials of the international conference "Ecological problems of large river basins". Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-cherty-biologii-segoletkov-rotana-goloveshki-v-poymenom-ozere-np-samarskaya-luka> (In Russ.).

7. Indicators of quality and safety of fish food products. TR EAEU 040/2016 from 18 Okt. 2016. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/420394425> (In Russ.).

8. Kuzmin, S. V., Popov, V. G. & Mozzherina, I. V. (2021). Relevance of development of formulations and technologies for production of snacks from non-traditional fish raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 163-169. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.022.

9. Materials substantiating the volume of total allowable catches of aquatic biological resources in the inland waters of the Tyumen region (2020). Website. Retrieved from [http://www.vniro.ru/files/odu\\_filial/grc\\_materialy-odu.pdf](http://www.vniro.ru/files/odu_filial/grc_materialy-odu.pdf). (In Russ.).

10. General biological analysis of different sex and age groups of sleeper sleeper from Berdsky Pond.

Website. Retrieved from [https://studbooks.net/794436/estestvoznaniye/sobstvennyye\\_issledovaniya](https://studbooks.net/794436/estestvoznaniye/sobstvennyye_issledovaniya). (In Russ.).

11. Amaranth flour - application and useful properties Royal-Forest. Website. Retrieved from [https://royal-forest.ru/blog/poleznye\\_svoystva\\_amarantovoy\\_muki/](https://royal-forest.ru/blog/poleznye_svoystva_amarantovoy_muki/) (In Russ.).

### **Information about the authors**

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

*S. V. Kuzmin - Master's student of the Department of "Commodity Science and Technology of Food Products (profile food Biotechnology)", Tyumen Industrial University.*

*I. V. Mozzherina - Associate Professor of the Department of food science and technology of food products", Tyumen Industrial University.*

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*





Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 664.8.022.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.020

 EDN: RCUVVH

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БЛАНШИРОВАНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЭКОСНЕКОВ

Наталья Тимофеевна Шамкова <sup>1</sup>,  
Ольга Валентиновна Руденко <sup>2</sup>, Майя Юрьевна Тамова <sup>3</sup>,  
Альбина Алексеевна Варивода <sup>4</sup>, Татьяна Викторовна Яковлева <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

<sup>4</sup> Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

<sup>5</sup> Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия

<sup>1</sup> shamkova75@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5131-6502>

<sup>2</sup> olga\_ned@mail.ru

<sup>3</sup> tamova\_maya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0710-8279>

<sup>4</sup> albin2222@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5931-2119>

<sup>5</sup> Yakovleva\_YY@mail.ru

**Аннотация.** Одной из проблем, требующей решения при переработке топинамбура, является изменение сенсорных характеристик, включая потемнение полуфабрикатов и формирование кофейного привкуса в процессе тепловой обработки. Эти нежелательные изменения связаны с окислением полифенолов и образованием соединений, имеющих темную окраску. Бланширование применяется для инактивации ферментов, изменения структуры сырья, снижения микробиологической обсемененности. Авторами исследовано влияние продолжительности и температуры бланширования в жидких средах на физико-химические показатели полуфабрикатов из топинамбура, а также на инактивацию фермента пероксидазы. Бланширование проводили: в воде (раствор № 0), в растворе 2 %-ной лимонной кислоты (раствор № 1) и в молочной сыворотке (раствор № 2) при температуре 65 °С, 80 °С и 95 °С от 3 до 9 минут. Активность пероксидазы оценивали колориметрическим методом, твердость полуфабрикатов - на приборе «Структурометр-СТ1». Спецификация модели проведена в программе Statistica с помощью бикубической сплайн-интерполяции. Получены регрессионные уравнения зависимости содержания пероксидазы и твердости полуфабрикатов из топинамбура от температуры и продолжительности бланширования в различных средах. Проведенные исследования обосновывают целесообразность бланширования полуфабрикатов из топинамбура в молочной сыворотке для получения экоснеков. Установлен оптимальный режим бланширования в молочной сыворотке: температура 80 °С, продолжительность от 6 до 9 мин. Активность пероксидазы при этом снижается на 87,0 % от первоначального значения, сохраняются нейтральный вкус и запахи, цвет продукта – от молочно-белого до кремового.

**Ключевые слова:** топинамбур, экоснеки, бланширование, раствор лимонной кислоты, молочная сыворотка, пероксидаза, технологический режим.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках проекта «Здоровое питание» при реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» в 2022 г. (приказ КубГАУ от 12.07.2022 № 289-АХ-П).

---

**Для цитирования:** Обоснование технологического режима бланширования полуфабрикатов из клубней топинамбура для приготовления экоснеков / Н. Т. Шамкова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 144 – 151. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.020, EDN: <https://elibrary.ru/rcuvvh>.

---

© Шамкова, Н. Т., Руденко, О. В., Тамова, М. Ю., Варивода, А. А., Яковлева, Т. В. 2022

Original article

## JUSTIFICATION OF THE TECHNOLOGICAL MODE OF BLANCHING SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM JERUSALEM ARTICHOKE TUBERS FOR PREPARATION OF ECO-SNACKS

Natalia T. Shamkova <sup>1</sup>, Olga V. Rudenko <sup>2</sup>, Maya Yu. Tamova <sup>3</sup>,  
Albina A. Varivoda <sup>4</sup>, Tatiana V. Yakovleva <sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

<sup>4</sup> Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

<sup>5</sup> Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking", Krasnodar, Russia

<sup>1</sup> shamkova75@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5131-6502>

<sup>2</sup> olga\_ned@mail.ru

<sup>3</sup> tamova\_maya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0710-8279>

<sup>4</sup> albin2222@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5931-2119>

<sup>5</sup> Yakovleva\_YY@mail.ru

**Abstract.** *One of the problems that needs to be solved during the processing of Jerusalem artichoke is the change in sensory characteristics, including the darkening of semi-finished products and the formation of coffee flavor during heat treatment. These undesirable changes are associated with the oxidation of polyphenols and the formation of compounds with a dark color. Blanching is used to inactivate enzymes, change the structure of raw materials, and reduce microbiological contamination. The authors investigated the effect of blanching duration and temperature in liquid media on the physico-chemical parameters of jerusalem artichoke semi-finished products, as well as on the inactivation of the peroxidase enzyme. Blanching was carried out: in water (solution No. 0), in a solution of 2 % citric acid (solution No. 1) and in whey (solution No. 2) at a temperature of 65 ° C, 80 ° C and 95 ° C for 3 to 9 minutes. The activity of peroxidase was evaluated by colorimetric method, the hardness of semi-finished products - on the device "Structurometer-ST1". The model specification was carried out in the Statistica program using bicubic spline interpolation. Regression equations of the dependence of the content of peroxidase and hardness of jerusalem artichoke semi-finished products on the temperature and duration of blanching in various media are obtained. The conducted studies substantiate the expediency of blanching semi-finished jerusalem artichoke products in whey to obtain eco-snacks. The optimal mode of blanching in milk whey has been established: temperature 80 ° C, duration from 6 to 9 minutes. At the same time, the activity of peroxidase decreases by 87.0 % from the initial value, the neutral taste and smell, the color of the product are preserved – from milky white to cream.*

**Keywords:** *jerusalem artichoke, eco-snacks, blanching, citric acid solution, whey, peroxidase, technological regime*

**Acknowledgements:** *The work was carried out within the framework of the project "Healthy Nutrition" during the implementation of the strategic academic leadership program "Priority 2030" in 2022 (KubGAU Order No. 289-AH-P dated 12.07.2022).*

**For citation:** Shamkova, N. T., Rudenko O. V., Tamova, M. Yu., Varivoda, A. A. & Yakovleva T. V. (2022). Justification of the technological mode of blanching semi-finished products from jerusalem artichoke tubers for preparation of eco-snacks. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 144-151. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.020. (In Russ.).

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение получили продукты, употребляемые между основными приёмами пищи – «снеки» [1, 2, 3]. Они традиционно подразделяются на

два основных вида: солёная и сладкая снековая продукция, которая включает в себя классические снеки - чипсы, батончики, продукты экструзии; злаковые снеки [4, 5], орехи, мучные снеки [6] и другие. Как натуральная и полезная снековая продукция позиционируются экоснеки или овощные и фруктовые чипсы и фрипсы [7].

Они обладают рядом преимуществ перед снеками традиционными, благодаря пониженному содержанию жиров, низкой калорийности, высокому содержанию витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон и др.

Перспективным сырьём для производства натуральных снеков или экоснеков является топинамбур – ценный источник сложных углеводов, витаминов, минеральных веществ [8]. Клубни топинамбура содержат растворимый полисахарид инулин, азотистые вещества, витамины С и группы В, органические кислоты [9]. Известно об использовании топинамбура в питании больных сахарным диабетом, для коррекции обменных нарушений. Множество исследований подтверждают целесообразность использования продуктов переработки топинамбура в производстве функциональных и специализированных продуктов питания [10, 11, 12, 13].

Одной из проблем, требующей решения при переработке топинамбура, является изменение сенсорных характеристик, включая потемнение полуфабрикатов и формирование кофейного привкуса в процессе тепловой обработки [14, 15]. Эти нежелательные изменения связаны с окислением полифенолов и образованием соединений, имеющих темную окраску. Бланширование применяется для инактивации ферментов, изменения структуры сырья, снижения микробиологической обсемененности.

Для получения натуральных снеков целесообразно применение щадящих способов тепловой обработки. В связи с этим, нами сформулирована гипотеза, что, для бланширования топинамбура, целесообразно применять бланширование в растворах органических кислот.

Недостатком использования растворов органических кислот является выраженный кислый вкус и запах, что ухудшает органолептические показатели готовой продукции. Слабовыраженным кисломолочным вкусом и запахом характеризуется молочная сыворотка – дешёвый и доступный источник белка, витаминов, органических кислот. Поэтому исследовали возможность использования молочной сыворотки в качестве среды для бланширования топинамбура при приготовлении натуральной снековой продукции.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись: клубни топинамбура сорта «Интерес», выращенные на территории Краснодарского края, урожая 2020 г., соответствующие ГОСТ 32790,

сыворотка молочная по ГОСТ 34352, вода питьевая по ГОСТ Р 51232, раствор лимонной кислоты 2 %, полуфабрикаты экоснеков из топинамбура, выработанные в условиях кафедры общественного питания и сервиса Кубанского государственного технологического университета (г. Краснодар).

В таблице 1 приведён химический состав клубней топинамбура.

Таблица 1 – Химический состав клубней топинамбура (P<0,05)

Table 1 – Chemical composition of tubers of topi-nambura (P<0.05)

Наименование показателя	Значение показателя
Массовая доля сухих веществ, %	24,35
Белок (N*6,25), %	1,25
Общий сахар, % на сухое вещество	87,06
Фруктоза, г/кг	46,96
Глюкоза, г/кг	71,29
Сахароза, г/кг	0,72
Инулин, % к сухому веществу	32,11
Общего пектина, % к сухому веществу	5,14
Клетчатка, % к сухому веществу	8,62
Гемицеллюлоза, % к сухому веществу	0,85
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	9,10

Исследовали влияние среды, продолжительности и температуры бланширования в жидкой среде на физико-химические показатели полуфабрикатов из топинамбура, а также на инактивацию фермента пероксидазы. Бланширование проводили в следующих средах: в воде (раствор № 0), в растворе 2 %-ной лимонной кислоты (раствор № 1) и в молочной сыворотке (раствор № 2) при температуре 65 °С, 80 °С и 90 °С в течение от 3 до 9 минут. Полуфабрикат из нарезанного пластинами толщиной около 5 мм топинамбура полностью погружали в жидкую среду с соответствующей температурой и выдерживали требуемое время. После бланширования полуфабрикат охлаждали водой.

Учитывая, что сохранение цветности является важным показателем качества полуфабрикатов из топинамбура, для количественной оценки изменения цвета использовали метод расчета цветовых различий [16]. Для получения цветовых характеристик использовали

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БЛАНШИРОВАНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЭКОСНЕКОВ

сканированное фотоизображение образцов с последующей обработкой в редакторе AdobePhotoshop. Наблюдалось потемнение топинамбура, таблице 2, о чем свидетельствует положительное значение  $\Delta L$  ( $P < 0,05$ ), при этом цветовые изменения при использовании молочной сыворотки были наименее выражены.

Таблица 2 – Изменения цветности экоснеков при бланшировании

Table 2 – Changes in the color of eco-checks during blanching

Вид среды бланширования	Изменение			Цветовое различие $\Delta E$
	светлоты $\Delta L$	насыщенности цвета $\Delta C$	цветового тона $\Delta H$	
Вода				3,5
Раствор 2 % -ной лимонной кислоты	7	-6	2	2
Молочная сыворотка	3	-1	1	1

Контролируемыми показателями качества экоснеков из топинамбура явились: количество пероксидазы, комплексный органолептический показатель (цвет, вкус, запах), твердость.

Качество экоснеков оценивали по следующим показателям: сухие вещества - по ГОСТ 28561; активность пероксидазы – колориметрическим методом, твердость – на приборе «Структурометр-СТ1». Органолептическую оценку образцов проводили общепринятым методом с использованием бальных шкал по национальному стандарту ГОСТ 31986.

Факторами эксперимента являлись:

$X_1 = \{\text{вода, 2 \% -ный раствор лимонной кислоты, молочная сыворотка}\} = \text{вид среды для бланширования};$

$X_2 = \text{температура бланширования, } ^\circ\text{C};$

$X_3 = \text{продолжительность бланширования, минут.}$

Диапазон варьирования факторов эксперимента приведен в таблице 3.

Факторами, оказывающими наибольшее влияние на качество полуфабрикатов из топинамбура в процессе бланширования, являлись: содержание пероксидазы и твердость. Желательным являлось минимально возможное содержание пероксидазы в продукте ( $Y_1, \%$ ) при максимальной твердости ( $Y_2, \text{ усл. ед.}$ ):

$$Y_1(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min \{1\}$$

$$Y_2(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \max \{2\}$$

Таблица 3 – Диапазон варьирования факторов эксперимента

Table 3 – Range of variation of the experimental factors

Наименование	Уровни факторов		
	-1	0	+1
$X_1$ – вид среды для бланширования	вода	р-р лимонной кислоты 2 %	молочная сыворотка
$X_2$ – температура бланширования, $^\circ\text{C};$	60	75	90
$X_3$ – продолжительность бланширования, минут	3	6	9

Решение задачи оптимизации технологического режима бланширования полуфабрикатов из клубней топинамбура для приготовления экоснеков проводили в три этапа.

На 1-м этапе составлен план 3-ёх факторного эксперимента для идентификации регрессионных моделей содержания пероксидазы и твердости полуфабрикатов, получены экспериментальные данные. На 2-м этапе идентифицировали регрессионные модели. На 3-м этапе была проведена векторная оптимизация в три шага: на 1-ом шаге методом Парето-множества, на 2 и 3 шагах методом линейной свёртки критериев. Для свёртки критериев, на 2-ом шаге, методом математического программирования определены решения задачи (1) и (2) для нахождения величин  $Y_1^{\min}$  и  $Y_2^{\max}$ . На 3-ем шаге, для нахождения величин  $X_1, X_2, X_3$  оптимального режима технологического процесса, методом математического программирования определено решение задачи обеспечения максимально возможного значения линейной свёртки критериев (1) и (2):

$$K_1(X_1, X_2, X_3) = \frac{1}{2} \left( \frac{Y_1^{\min}}{Y_1(X_1, X_2, X_3)} + \frac{Y_2(X_1, X_2, X_3)}{Y_2^{\max}} \right).$$

$100\% \rightarrow \max \quad \{3\}$

имеющей смысл % достижения максимально возможных величин  $Y_1^{\min}, Y_2^{\max}$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 4.

Затем проводилась идентификация регрессионных моделей содержания пероксидазы и твердости полуфабрикатов. Графическое представление предполагает оценить регрессионную зависимость пероксидазы ( $y_1$ ) от температуры и продолжительности бланширования в воде как квадратическую (рис. 1).

Таблица 4 - Влияние режимов бланширования на свойства полуфабрикатов из топинамбура

Table 4 - The effect of blanching modes on the properties of jerusalem artichoke semi-finished products

Вид среды	Режим бланширования		Значение показателя	
	температура, °С	продолжительность, мин	количество пероксидазы, %	твёрдость, усл. ед.
Вода	65	3	1,80	12,5
	65	6	1,70	10,0
	65	9	1,20	8,0
	80	3	1,08	11,0
	80	6	1,03	10,0
	80	9	0,98	7,0
	95	3	1,05	7,0
	95	6	0,94	5,0
Раствор 2 %-ной лимонной кислоты	65	3	1,20	12,5
	65	6	0,80	10,0
	65	9	0,70	8,0
	80	3	0,50	11,0
	80	6	0,50	10,0
	80	9	0,36	10,0
	95	3	0,48	7,0
	95	6	0,46	5,0
Молочная сыворотка	65	3	1,10	12,5
	65	6	0,72	10,0
	65	9	0,63	8,0
	80	3	0,40	10,0
	80	6	0,35	8,0
	80	9	0,28	8,0
	95	3	0,37	6,0
	95	6	0,29	5,0
	95	9	0,26	3,0

Полученное уравнение регрессии имеет высокое значение индекса корреляции (R=0.97), критерием Фишера на уровне значимости 0,05 подтверждается общая значимость модели.

Для улучшения качества регрессионной зависимости было уменьшено количество коэффициентов в квадратической модели, без снижения значений индекса корреляции. Спецификация регрессионной модели для содержания пероксидазы в образцах (Y<sub>1</sub>, %) имеет вид, приведенный на рис.1. Аналогичный подход применялся для получения зависимостей функций y<sub>1</sub> и y<sub>2</sub> от температуры (x<sub>2</sub>) и продолжительности (x<sub>3</sub>) бланширования полуфабрикатов из топинамбура в растворе лимонной кислоты и молочной сыворотке, рисунок 2.

Далее проводилась линейная свёртка критериев:

$$K(X_2, X_3) = 100 \cdot \frac{\left( \frac{Y_{1min}}{Y_1(X_2, X_3)} + \frac{Y_2(X_2, X_3)}{Y_{2max}} \right)}{2}$$

Расчетные значения оптимальных значений пероксидазы и твердости при бланшировании (фактор X<sub>1</sub>) приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетные значения достижимых оптимальных значений пероксидазы и твердости при бланшировании полуфабрикатов из топинамбура в различных средах

Table 5 – Calculated values of achievable optimal values of peroxidase and hardness during blanching of jerusalem artichoke semi-powders in various media

Наименование	Бланширование в воде	Бланширование в р-ре лимонной кислоты 2%	Бланширование в молочной сыворотке
Min пероксидазы, %	0,6	0,4	0,2
Max твердости, усл.ед.	14	14	14

Максимальное снижение содержания пероксидазы наблюдается при бланшировании полуфабрикатов из топинамбура в молочной сыворотке при температуре 80 °С в течение от 6 мин до 9 мин, а также при температуре 95 °С в течение от 3 до 9 мин. При этом, образцы, бланшированные при температуре 80 °С в течение от 6 до 9 мин характеризовались умеренной твердостью, в сравнении с образцами, бланшированными при температуре 95 °С, которые размягчались за счет гидролиза протопектина и перехода его в растворимый пектин. Чрезмерное размягчение консистенции нежелательно для производства снеков. Бланширование в воде также оказывало ингибирующее действие на окислительно-восстановительные ферменты, консистенция полуфабриката размягчалась, что отрицательно сказывалось на качестве готовой продукции.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БЛАНШИРОВАНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЭКОСНЕКОВ

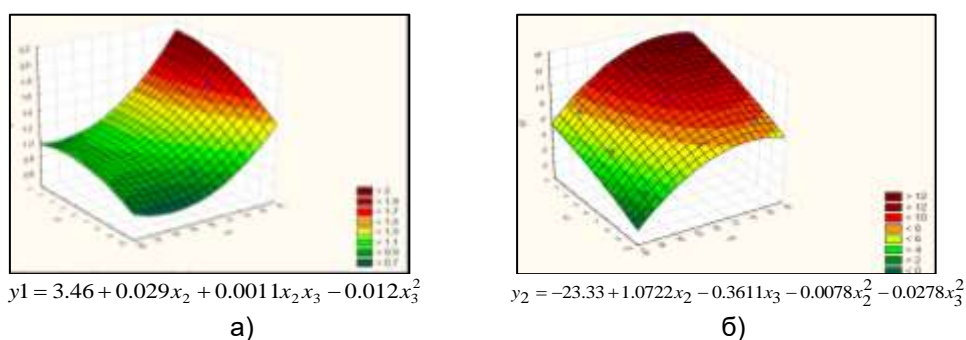


Рисунок 1 - Регрессионная зависимость содержания пероксидазы (а) и твердости (б) от температуры ( $x_2$ ) и продолжительности бланширования ( $x_3$ ) в воде

Figure 1 - Regression dependence of peroxidase content (a) and hardness (b) on temperature ( $x_2$ ) and blanching duration ( $x_3$ ) in water

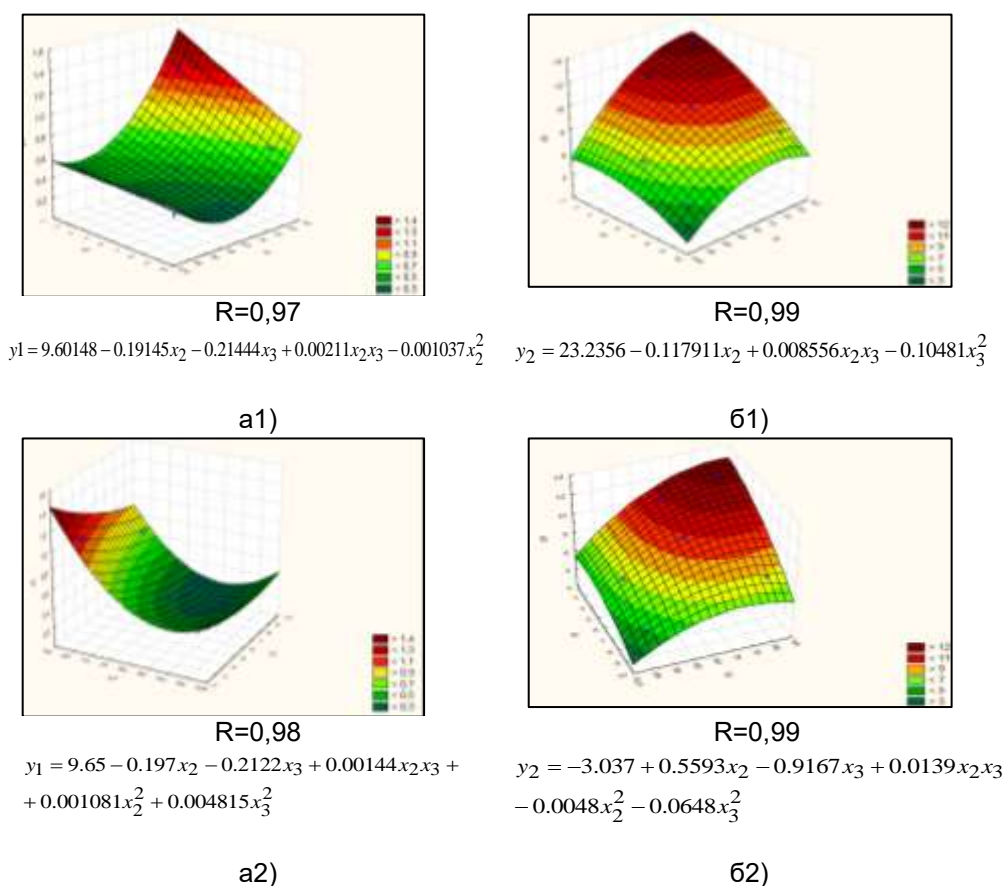


Рисунок 2 - Регрессионная зависимость содержания пероксидазы (а1, а2) и твердости (б1, б2) от температуры ( $x_2$ ) и продолжительности бланширования ( $x_3$ ) в растворе лимонной кислоты (1) и в молочной сыворотке (2)

Figure 2 - Regression dependence of peroxidase content (a1, a2) and hardness (b1, b2) on temperature ( $x_2$ ) and duration of blanching ( $x_3$ ) in citric acid solution (1) and in whey (2)

Снижение количества пероксидазы при бланшировании в растворе лимонной кислоты при температуре 80 °С в течение до 9 мин составило 82,0 %. После бланширования при указанных режимах клубни топинамбура полностью сохраняли консистенцию, сохраняли твердость. При бланшировании в растворе лимонной кислоты при температуре 95 °С в течение 9 мин пероксидаза снижалась на 85,0 %, однако образцы становились чрезмерно мягкими, что приводило к нарушению их целостности.

### ВЫВОДЫ

Получены регрессионные уравнения зависимости содержания пероксидазы и твердости полуфабрикатов из топинамбура от температуры и продолжительности бланширования в растворе лимонной кислоты и в молочной сыворотке. Проведенные исследования обосновывают целесообразность бланширования полуфабрикатов из топинамбура в молочной сыворотке для получения натуральных снеков. Установлен оптимальный режим бланширования в молочной сыворотке при температуре 80 °С в течение от 6 до 9 мин. Активность пероксидазы при этом снижается на 87,0 % от первоначального значения, сохраняются нейтральный вкус и запах, цвет продукта от молочно-белого до кремового.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Oniszczyk, T., Kasprzak-Drozd, K., Olech, M., Wójtowicz, A., Nowak, R., Rusinek, R. & Oniszczyk, A. (2021). The Impact of Formulation on the Content of Phenolic Compounds in Snacks Enriched with *Dracopcephalum moldavica* L. Seeds: Introduction to Receiving a New Functional Food Product, 26 (5), <https://doi.org/10.3390/molecules26051245>.
2. Dudarev, I., Panasyuk, S., Taraymovich, I. & Say, V. (2021). Effect of fruit and vegetable blanching and compression on the loss of multilayer chips. *IN-MATEH - Agricultural Engineering*, (64), 247-256, <https://doi.org/10.35633/inmateh-64-24>.
3. Shamkova, N.T., Vereshchagina, A.I., Dobrovolskaya, A.V. & Todorova, A.Z. (2020). News of higher educational institutions. *Food technology*, 5-6 (377-378), 46-49 (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.10>.
4. F. Michel, L.M. Sanchez-Siles & M. Siegrist. (2021). Predicting how consumers perceive the naturalness of snacks: The usefulness of a simple index. *Food Quality and Preference*, (94), <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104295>.
5. Román, S., Sánchez-Siles, L.M. & Siegrist, M. (2017). The importance of food naturalness for consumers: Results of a systematic review. *Trends in Food*

*Science and Technology*, (67), 44-57, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.010>.

6. Sudhakar, A., Dash, S.K., Bal, L.M., Sahoo, N.R. & Rayaguru, K. (2021) *Journal of the Indian Chemical Society*, 98(10) <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100160>.

7. Kowalska, H., Marzec, A., Kowalska, J., Samborska, K., Tywonek, M. & Lenart, A. (2018). Development of apple chips technology. *Heat and Mass Transfer/Waerme-Und Stoffuebertragung*, 54(12), 3573-3586 <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2346-y>.

8. Shariati, M.A., Khan, M.U., Hleba, L., Souza, C.K., Tokhtarov, Z., Terentev, S. & Kantimerova, M. (2021). The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(6), 1-8. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.4737>.

9. Castellanos-Gallo, L., Galicia-García, T., Estrada-Moreno, I.A., Mendoza-Duarte, M., Márquez-Meléndez, R., Portillo-Arroyo, B., Soto-Figueroa, C., Leal-Ramos, M.Y. & Aldana, D.S. (2019). Development of an Expanded Snack of Rice Starch Enriched with Amaranth by Extrusion Process. *Molecules*, 24, 2430, <https://doi.org/10.3390/molecules24132430>.

10. Radovanovic, A., Stojceska, V., Plunkett, A., Jankovic, Milovanovic, S. & Cupara, D.S. (2015). The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Food Chemistry*, 177, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.096>.

11. Yang, L., Sophia, H.Q., Corscadden, K. & Chibuike, S.U. (2015). The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports*, 5, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.12.004>.

12. Barkhatova, T.V., Nazarenko, M.N., Kozhukhova, M.A. & Khripko, I.A. (2015). Obtaining and identification of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. *Foods and Raw Materials*, 3 (2), 13-22. <https://doi.org/10.12737/13115>.

13. Guerrero, B.G., Montero-Montero, J.C., Fernández-Quintero, A., Rivera-Agrede, Y.J. & Patiño, B.O. (2019). The importance of food naturalness for consumers: Results of a systematic review. Gallego. S. DYNA, 86, 298-303 <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.73071>.

14. Khuenpet, K., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S. & Srichamnong, W. (2015). Effect of Pretreatments on Quality of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tuber Powder and Inulin Extraction. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1873-1884. <https://doi.org/10.13031/trans.58.11036>.

15. Bach, V., Jensen, S., Clausen, M.R., Bertram, H.C. & Edelenbos, M. (2013). Enzymatic browning and after-cooking darkening of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.). *Food Chemistry*, 141(2), 1445-1450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.028>.

16. Domasev, M.V. & Gnatyuk, S.P. (2009). Color, color management, color calculations and measurements. St. Petersburg: Peter. (In Russ.).

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БЛАНШИРОВАНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ  
КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЭКОСНЕКОВ

**Информация об авторах:**

*Н. Т. Шамкова – доктор технических наук, профессор кафедры общественного питания и сервиса КубГТУ, профессор.*

*О. В. Руденко – кандидат технических наук, доцент кафедры общей математики КубГТУ, доцент.*

*М. Ю. Тамова – доктор технических наук, зав. кафедрой общественного питания и сервиса КубГТУ, профессор.*

*А. А. Варивода – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции КубГАУ им. И.Т. Трубилина, доцент.*

*Т. В. Яковлева – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела хранения и переработки сельскохозяйственной продукции КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, доцент.*

**Information about the authors:**

*N. T. Shamkova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Public Catering and Service of KubSTU, Professor*

*O. V. Rudenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General Mathematics of KubSTU, Associate Professor.*

*M. Y. Tamova – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Public Catering and Catering of KubSTU, Professor.*

*A. A. Varivoda – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Crop Products of KubGAU named after I.T. Trubilin, Associate Professor.*

*T. V. Yakovleva – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Storage and Processing processing of agricultural products KNIHP - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution SKFNTSSVV, associate Professor. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*





Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.021



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИРОПА КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО НА СДОБНЫЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Анастасия Андреева <sup>1</sup>, Мария Владимировна Шабунина <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup> aandreeva@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6179-2265>

<sup>2</sup> mariashabunina@niuitmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3360-3575>

**Аннотация.** Исследовано влияние сиропа из сухих цветков и листьев клевера лугового (*Trifolium pratense*) на органолептические и физико-химические показатели качества сдобных хлебобулочных изделий. Объектами исследования явились выпеченные изделия – сдобные булочки, в рецептуру которых вносили клеверный сироп в концентрациях 5; 7 и 11 % к массе муки в тесте. Влажность готовых изделий определяли с помощью влагомера, для определения кислотности использовали метод прямого титрования. Деформационные характеристики мякиша измеряли анализатором текстуры через сутки хранения, внешний вид и запах изделий оценивали на 1; 5; 8 и 12 сутки хранения. Установлено, что с увеличением дозировки клеверного сиропа повышалось содержание влаги в готовых изделиях (+9,33 %). Также наблюдалось увеличение кислотности мякиша готовых изделий (+0,04 %). Внесение сиропа положительно сказалось на начальной мягкости опытных образцов. Кроме того, булочки имели более выраженные вкус и запах, свойственные сдобе, отличались лучшей формой, поверхностью и цветом корочки. Оптимальной для получения продукта с наилучшими потребительскими характеристиками признана дозировка, равная 7 % сиропа к массе муки в тесте.

**Ключевые слова:** хлебопечение, функциональное питание, сдобные хлебобулочные изделия, клевер луговой (*Trifolium pratense*).

---

**Для цитирования:** Андреева А., Шабунина М. В. Исследование влияния сиропа клевера лугового на сдобные хлебобулочные изделия // Ползуновский вестник. 2022. № 3. // Ползуновский вестник. 2022. С. 152 – 159. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.021. EDN: <https://elibrary.ru/qmnkam>.

---

Original article

## THE EFFECT OF THE MEADOW CLOVER SYRUP ON THE SWEET YEAST BAKERY PRODUCTS

Anastasiia Andreeva <sup>1</sup>, Maria V. Shabunina <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ITMO University, St. Petersburg, Russia

<sup>1</sup> aandreeva@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6179-2265>

<sup>2</sup> mariashabunina@niuitmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3360-3575>

**Abstract.** *The aim of the study was to determine the influence of the syrup from dried flowers and leaves of the meadow clover (*Trifolium pratense*) on the sensory, physical, and chemical quality indicators of the baked products. The syrup was added in various concentrations – 5; 7 and 11 % by weight of the wheat flour in the dough. The samples with the addition of the syrup had better taste and smell; differed in the best shape, flavor, and color of the crust. It was found that the higher the dosage of the syrup, the higher moisture content in the finished products. The maximum increase in the humidity relative to the reference sample was 9.33 %. The addition of the syrup had a positive effect on the deformation characteristics of the crumb: breads with the addition of syrup had a greater initial softness. As a result of carried analysis, the sample baked with 7 % of clover syrup added established as the best, therefore, it can be used in the bread production.*

**Keywords:** wheat bread, bun loaf, functional nutrition, functional products, red clover syrup, *Trifolium pratense*

---

**For citation:** Andreeva, A., Shabunina, M. V. (2022). The effect of the meadow clover syrup on the sweet yeast bakery products. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 152-159. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.021.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Использование нетрадиционных видов сырья в производстве хлебобулочных и кондитерских изделий – один из перспективных способов оптимизации качества и расширения общего ассортимента выпускаемой продукции. Различные добавки на основе растительного и животного сырья позволяют не только скорректировать пищевую, энергетическую и биологическую ценность высокоуглеводной по своей сути хлебопекарной и кондитерской продукции, но и повлиять на основные органолептические и структурно-механические показатели изделий. А именно: изменить вкусо-ароматические характеристики, улучшить цвет корочки и мякиша, увеличить начальную мягкость изделий и обеспечить устойчивость к длительному хранению. Например, добавление миндальной кожуры взамен 8 % пшеничной муки позволило увеличить содержание клетчатки и полифенолов в хлебе, а также снизить твердость мякиша [1]. Внесение льняной муки привело к улучшению функциональных свойств хлеба, но отрицательно сказалось на вкусе готовых изделий [2]. Образцы пшеничного хлеба, приготовленные с внесением кокосовой и кашта-

новой муки взамен 15 % пшеничной, были богаты клетчаткой и имели качественные характеристики, не уступающие контролю [3].

К растительному сырью, имеющему потенциал применения с целью оптимизации качества хлебопекарной продукции, относятся лекарственные травы, в том числе клевер луговой (*Trifolium pratense*) [4].

Цветки и зеленые части клевера лугового или клевера красного содержат большое количество биологически-активных веществ: витамины (А, С, Е, группы В), эфирные и жирные масла, дубильные вещества, гликозиды, триполин, изотрифолин, органические кислоты (н-кумаровая кислота, салициловая кислота, кетоглутар), фитостерины, флавоны, изофлавоны и смолы. Клевер также является источником меди, магния, кальция, хрома. В медицине цветы и листья этого растения используют в качестве токсिनыводящих, желчегонных, иммуностимулирующих и антисептических средств [5].

Так, включение в рацион порошка из ростков красного клевера снижало уровень глюкозы в крови после приема пищи [6]. Также было исследовано противоопухолевое действие красного клевера, влияние на молочные железы и репродуктивную систему [7-

9]. В кулинарии свежие листья клевера добавляют в салаты для придания им пикантного вкуса и аромата, а также, измельчив в пюре, смешивают с фаршем или мукой, повышая пищевую и биологическую ценность изготавливаемой продукции. Настои из сухих цветков и листьев, технология получения которых предполагает наличие термической обработки, также содержат достаточно большое количество биологически активных веществ. Органические кислоты, фенолкарбоновые кислоты, антоцианы и флавоноиды, обладающие мощными антибактериальными и антиоксидантными свойствами [10].

Согласно литературным данным, сохранность флавоноидов в готовом хлебе составляет 20 % от их общего числа до термической обработки. Следовательно, внесение сиропа на основе клевера лугового – один из эффективных путей создания продукции с направленными функциональными свойствами, а именно: продукции с высокой антиоксидантной активностью [11], подавляющей негативное воздействие свободных радикалов, образующихся в организме человека в результате сложных биохимических реакций. В связи с данными реакциями, происходящими на клеточном уровне, замедляются как общие процессы, связанные с разрушением тканевых структур, так и процессы старения организма [12-14].

Целью данной работы явилось исследование влияния растительной добавки в виде клеверного сиропа на основные физико-химические, структурно-механические и органолептические показатели качества готовых мелкоштучных сдобных изделий – булочек.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования явились 4 образца булочек: контрольный, рецептура кото-

рого не подразумевает внесение сиропа, и три опытных с внесением сиропа в различных концентрациях – 5; 7; 11 % к массе муки в тесте. Выбранный способ тестоведения – однофазный.

*Подготовку сиропа* из сухих цветков и листьев клевера лугового осуществляли по следующей технологии:

- 1) высушенное сырье заливали остывшей кипяченой водой в соотношении 1:10;
- 2) смесь помещали в кипящую водяную баню и нагревали в течение 20 минут;
- 3) нагретую смесь выдерживали при комнатной температуре в течение 45 минут;
- 4) полученный настой процеживали через марлю;
- 5) отфильтрованный настой доводили до кипения и малыми порциями добавляли сахар в соотношении 1:2;
- 6) подслащенный настой кипятили в течение 30 минут, снимая образующуюся пену ложкой и постоянно помешивая;
- 7) готовый сироп охлаждали и использовали в производстве булочек.

В готовом сиропе определяли содержание сухих веществ на рефрактометре по шкале Брикса. Концентрация готового сиропа клевера лугового составила 9,7 %.

*Приготовление теста для булочек.* Рецептуры исследуемых образцов мелкоштучных хлебобулочных изделий в пересчете на 0,62 кг муки представлены в Таблице 1.

Часть воды, идущей на замес теста, использовали для приготовления сахарного, солевого растворов и дрожжевой суспензии заданных концентраций. Муку и приготовленные растворы перемешивали в течение 1 минуты при 90 об/мин в миксере Bear Varimixer. Затем добавляли сливочное масло, оставшуюся воду и сироп и продолжали замес в течение 8 минут при 210 об/мин.

Таблица 1 – Модельные рецептуры мелкоштучных хлебобулочных изделий

Table 1 – Recipes of breads

Наименование сырья	Расход сырья на 0,62 кг муки, кг			
	Образец №1 5% сиропа	Образец №2 7% сиропа	Образец №3 11% сиропа	Образец №4 Контрольный
Мука пшеничная х/п, в/с	0,620	0,620	0,620	0,620
Дрожжи х/п прессованные	0,015	0,015	0,015	0,015
Масло сливочное	0,189	0,189	0,189	0,189
Соль пищевая	0,006	0,006	0,006	0,006
Сахар белый	0,120	0,120	0,120	0,120
Вода	0,310	0,310	0,310	0,310
Клеверный сироп	0,030	0,042	0,066	0

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИРОПА КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО НА СДОБНЫЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

*Брожение и выпечка.* Объединенная технологическая схема производства опытных и контрольного образцов исследуемых изделий с указанием параметров представлена на в Таблице 2.

*Влияние клеверного сиропа на качество готовых изделий.* Влажность определяли

ускоренным методом с помощью влагомера «Элекс-7».

*Кислотность мякиша* готовых изделий определяли согласно ГОСТ 5670–96 «Хлебо-булочные изделия. Методы определения кислотности».

Таблица 2 – Технологические параметры процесса производства булочек

Table 2 – Technological parameters of the bread production process

Наименование технологического параметра	Значение
<b>Замес</b>	
Замес теста при 90 об/мин, мин	1
Замес теста при 210 об/мин, мин	8
<b>Брожение</b>	
Время, мин	60
Температура, °С	30-35
Влажность, %	75-80
<b>Деление и формование</b>	
Масса тестовой заготовки, г	250
Предварительная расстойка, мин	5
Формование, мин	5
<b>Окончательная расстойка</b>	
Время, мин	90
Температура, °С	30-35
Влажность, %	75-80
<b>Выпечка в ротационной печи</b>	
Температура посадочная, °С	220
Температура выпечки, °С	190
<b>Охлаждение</b>	
Время, ч	5
Температура, °С	22-24
<b>Упаковка и маркировка</b>	
Хранение в изолированном складском помещении при 22°С	

*Органолептическую оценку* готовых изделий осуществляли в соответствии с ГОСТ 5667–65 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий». По пятибалльной шкале оценивали следующие показатели: форма и поверхность, цвет, запах, состояние мякиша, вкус.

*Деформационные характеристики мякиша* измеряли с помощью специального прибора – анализатора текстуры «Структурометр СТ-2» (Россия), соответствующего стандарту ААСС 74–09, по методике производителя.

*Изменение готовых изделий в процессе хранения* определяли органолептически (внешний вид, поверхность, запах, наличие

плесени) по ГОСТ 31752–2012 «Изделия хлебо-булочные в упаковке. Технические условия» на 5; 8 и 12 сутки хранения.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Влияние клеверного сиропа на качество готовых изделий.* С последовательным увеличением содержания клеверного сиропа в рецептурной смеси возрастало значение влажности соответствующих изделий (Рисунок 1). Данная зависимость обусловлена внесением дополнительной влаги: на 100 г готового сиропа приходится 9,7 г сахарозы и 90,3 г воды. Кроме того, внесение дополнительных сахаров способствует увеличению влагоудерживающей способности теста [15]. При этом значения прироста влажности относительно контрольного образца у опытных об-

разцов с 5; 7 и 11% содержанием клеверного сиропа составили 1,96; 2,11 и 9,33% соответственно.

Увеличение кислотности при внесении сиропа составило 0,1; 0,2 и 0,4% относительно контроля соответственно (Рисунок 2). Изменение показателя является незначительным, так полученные значения лежат в рамках погрешности использованной методики, равной  $\pm 0,5$  град.

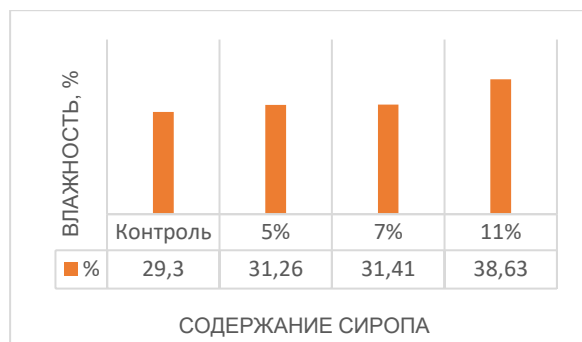


Рисунок 1 – Влажность мякиша готовых изделий

Figure 1 – Moisture content of breads

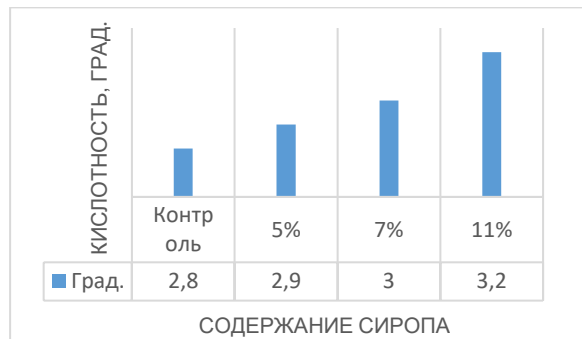


Рисунок 2 – Кислотность готовых изделий

Figure 2 – Acidity of breads

*Влияние клеверного сиропа на органолептические показатели качества готовых изделий.* Органолептическая оценка осуществлялась группой из 10 человек. Результаты представлены в виде профилограммы на Рисунке 3.

Внесение клеверного сиропа заметно сказалось на органолептических показателях качества изделий (Рисунки 4 и 5). Изделия с внесением 5 и 7% добавки отличались более привлекательным цветом поверхности, вкусом, запахом и более равномерной пористостью мякиша. 11% добавки – концентрация, которая положительно сказалась на вкусо-

ароматических свойствах, но ухудшила общее состояние мякиша, сделав изделие менее привлекательным для потребителя.

Важным является тот факт, что в ходе дегустации участники отметили положительное влияние каждой из вносимых дозировок клеверного сиропа на такие показатели готовых изделий, как сладость, сливочный вкус и запах, свойственные сдобе.

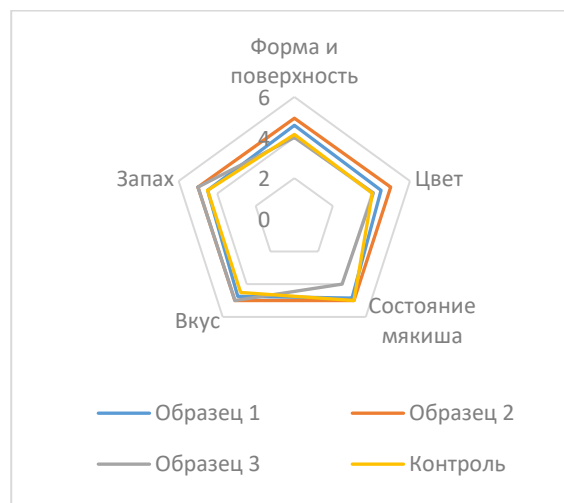


Рисунок 3 – Результаты органолептической оценки готовых изделий

Figure 3 – Sensory evaluation of breads



Рисунок 4 – Внешний вид готовых изделий: образец № 1 – внесение клеверного сиропа в дозировке 5 %; образец № 2 – в дозировке 7 %; образец № 3 – в дозировке 11 %; образец № 4 – контроль

Figure 4 – The crust structure of breads: sample № 1 – concentration of clover syrup 5 %; sample № 2 – concentration 7 %; sample № 3 – concentration 11 %; sample № 4 – reference sample

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИРОПА КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО НА СДОБНЫЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

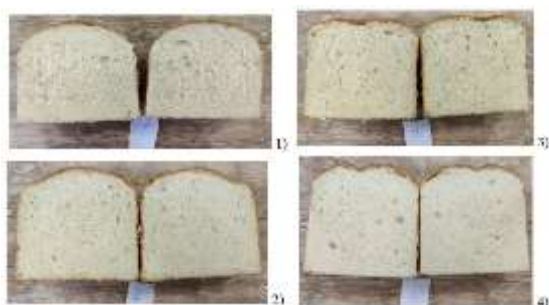


Рисунок 5 – Структура мякиша готовых изделий: образец № 1 – внесение клеверного сиропа в дозировке 5 %; образец № 2 – в дозировке 7 %; образец № 3 – в дозировке 11 %; образец № 4 – контроль

Figure 5 – The crust structure of breads: sample № 1 – concentration of clover syrup 5 %; sample № 2 – concentration 7 %; sample № 3 – concentration 11 %; sample № 4 – reference sample

*Влияние клеверного сиропа на деформационные характеристики мякиша.* Результаты оценки деформации мякиша исследуемых образцов булочек при постоянном усилии представлены на Рисунке 6.

Внесение клеверного сиропа в любой из рассматриваемых концентраций увеличило показатели общей и упругой деформации мякиша, что говорит о большей первоначальной мягкости изделия.

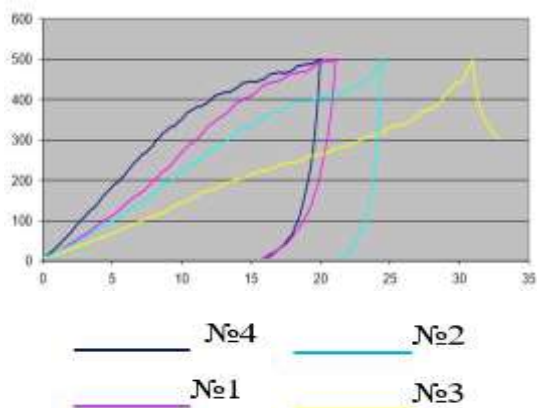


Рисунок 6 – Деформация мякиша через сутки хранения: образец № 1 – внесение клеверного сиропа в дозировке 5 %; образец № 2 – в дозировке 7 %; образец № 3 – в дозировке 11 %; образец № 4 – контроль

Figure 6 – The crumb deformation after 24 h of storage: sample № 1 – concentration of clover syrup 5 %; sample № 2 – concentration 7 %; sample № 3 – concentration 11 %; sample № 4 – reference sample

*Влияние клеверного сиропа на изменение качества изделий в ходе длительного хранения.* Устойчивость изделий к порче при хранении оценивали по как по гостуемым органолептическим показателям, так и по наличию плесени на образцах. Внешний вид изделий на 5; 8 и 12-е сутки хранения представлен на Рисунке 7.

На 5 и 8-е сутки хранения ощутимых изменений в состоянии как опытных, так и контрольного образцов изделий не наблюдалось. На 12-е сутки явно обозначились признаки порчи: у всех образцов резко ухудшился товарный вид, появился затхлый запах. Больше всего плесени появилось на образцах с содержанием клеверного сиропа, при этом контрольный образец был наименее подвержен микробиологической порче. Профилограмма потребительской оценки булочек на 12-е сутки хранения представлена на Рисунке 8.



Рисунок 7 – Внешний вид изделий в процессе хранения: 1 – на 5 сутки; 2 – на 8 сутки; 3 и 4 – на 12 сутки (на каждой иллюстрации нумерация образцов читается от 1-го к 4-му – контрольному)

Figure 7 – Overall breads condition during storage: 1 – the 5<sup>th</sup> day; 2 – the 8<sup>th</sup> day; 3, 4 – the 12<sup>th</sup> day (for each fig. numbering of the samples is read from the 1<sup>st</sup> to the 4<sup>th</sup> – reference)

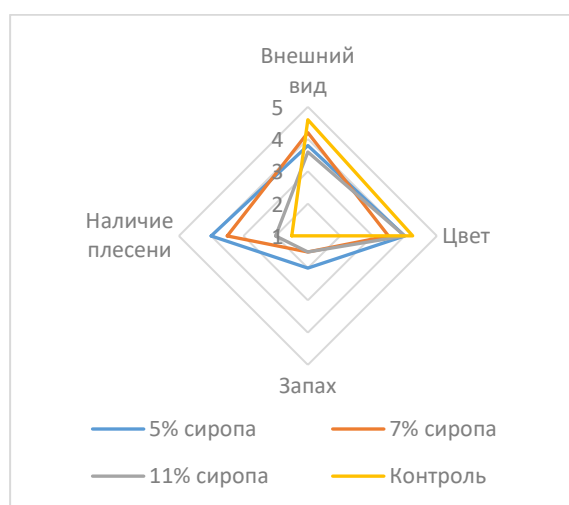


Рисунок 8 – Результаты органолептической оценки готовых изделий на 12-е сутки хранения

Figure 8 – Sensory evaluation of breads: the 12<sup>th</sup> day of storage

## ВЫВОДЫ

В ходе работы была исследована возможность использования сиропа из сухих цветков и листьев клевера лугового (*Trifolium pratense*) в качестве добавки, оптимизирующей качество мелкоштучных хлебобулочных изделий из муки пшеничной высшего сорта. Была разработана технология производства булочек с внесением данной добавки. Экспериментальным путем было установлено, что наиболее приемлемой для улучшения потребительских свойств продукции является концентрация клеверного сиропа, равная 7 % к массе муки в тесте.

Булочка с данным содержанием добавки отличалась следующими преимуществами:

- привлекательная вкусоароматика;
- отличный внешний вид и состояние мякиша;
- большая мягкость и медленное черствение;
- отсутствие микробиологической порчи

вплоть до 8 суток хранения.

В дальнейшем планируется продолжить работу в направлении изучения влияния клеверного сиропа на массовую долю сахара в сухом веществе и химический состав разработанной продукции с целью корректирования ее пищевой ценности, а также разработки линейки булочек функционального назначения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kahlaoui, M., Bertolino, M., Barbosa-Pereira, L., Ben Haj Kbaier, H., Bouzouita, N. & Zeppa, G. (2022). Almond Hull as a Functional Ingredient of

Bread: Effects on Physico-Chemical, Nutritional, and Consumer Acceptability Properties. *Foods*, (11), 777. doi: 10.3390/foods11060777.

2. Saka, I., Baumgartner, B. & Özkaya, B. (2022). Usability of microfluidized flaxseed as a functional additive in bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (102), 505–513. doi: 10.1002/jsfa.11378.

3. Raczyk, M., Kruszewski, B. & Michałowska, D. (2021). Effect of Coconut and Chestnut Flour Supplementations on Texture, Nutritional and Sensory Properties of Baked Wheat Based Bread. *Molecules*, (26), 4641. <https://doi.org/10.3390/molecules26154641>

4. Кузнецова Е. Использование сиропа цветков клевера лугового в производстве пшеничного хлеба // Хлебопродукты. 2011. № 5. С. 44–45.

5. Кароматов И.Д. Фитотерапия клевер луговой применение в медицине // Биология и интегративная медицина. 2016. № 5. С. 95–109.

6. Yokoyama, S.I., Kodera, M., Hirai, A., Nakada, M., Ueno, Y. & Osawa, T. (2020). Red Clover (*Trifolium pratense* L.) Sprout Prevents Metabolic Syndrome. *Journal of Nutritional Science and Vitamins*, (66), 48–53. doi: 10.3177/jnsv.66.48.

7. Mohsen A., Fatemeh, K., Leila, N., Mona, P., Mohammad, Z. & Mozafar, K. (2021). Pharmacological and therapeutic properties of the Red Clover (*Trifolium pratense* L.): an overview of the new finding. *Journal Traditional Chinese Medicine*, (41), 642–649. doi: 10.19852/j.cnki.jtcm.20210324.001.

8. Akbaribazm, M., Khazaei, M.R., Khazaei, F. & Khazaei M. (2020). Doxorubicin and *Trifolium pratense* L. (Red clover) extract synergistically inhibits brain and lung metastases in 4T1 tumor-bearing BALB/c mice. *Food Science and Nutrition*, (8), 5557–5570. doi: 10.1002/fsn3.1820.

9. Khazaei, M. & Pazhouhi, M. (2019). Antiproliferative Effect of *Trifolium Pratense* L. Extract in Human Breast Cancer Cells. *Nutrition and Cancer*, (71), 128–140. doi: 10.1080/01635581.2018.1521443.

10. Способ производства хлебобулочных изделий: пат. 2463792С1 Рос. Федерация; заявл. 12.02.2011; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 29. 8 с.

11. Саякова Г.М. Изучение антиоксидантной активности отечественного растительного сырья клевера лугового (*Trifolium pratense*) // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2018. № 2. С. 282–285.

12. Дренин А.А. Флавоноиды и изофлавоноиды растений рода *Trifolium* L. структурное разнообразие и биологическая активность // Химия растительного сырья. 2017. № 3. С. 39–53. doi: 10.14258/jcprgm.2017031646.

13. Исследование кормовой белковой добавки из растительного сырья со свойствами фитобиотика / Шевцов А.А. [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 3 (85). С. 65–70. doi: 10.20914/2310–1202-2020-3-65-70.

14. Агеева Э.Э. Исследование антиоксидантных и антирадикальных свойств экстрактов травы клевера лугового (*Trifoliumpratense*L.) // Вестник

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИРОПА КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО НА СДОБНЫЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Казанского технологического университета. 2016. Т. 9. № 16. 86–88.

15. Wang, B., Xiao, L., Chai, D., Jiang, Y., Wang, M., Xu., X., Li C. & Dong L. (2020). Metabolite analysis of wheat dough fermentation incorporated with buckwheat. *Food Science and Nutrition*, (8), 4242–4251. doi: 10.1002/fsn3.1720.

### Информация об авторах

**А. Андреева** – аспирант факультета биотехнологий Университета ИТМО.

**М. В. Шабунина** – студент факультета биотехнологий Университета ИТМО.

### REFERENCES

1. Kahlaoui, M., Bertolino, M., Barbosa-Pereira, L., Ben Haj Kbaier, H., Bouzouita, N. & Zeppa, G. (2022). Almond Hull as a Functional Ingredient of Bread: Effects on Physico-Chemical, Nutritional, and Consumer Acceptability Properties. *Foods*, (11), 777. doi: 10.3390/foods11060777.

2. Saka, İ., Baumgartner, B. & Özkaya, B. (2022). Usability of microfluidized flaxseed as a functional additive in bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (102), 505–513. doi: 10.1002/jsfa.11378.

3. Raczyk, M., Kruszewski, B. & Michałowska, D. (2021). Effect of Coconut and Chestnut Flour Supplementations on Texture, Nutritional and Sensory Properties of Baked Wheat Based Bread. *Molecules*, (26), 4641. <https://doi.org/10.3390/molecules26154641>

4. Kuznetsova, E. & Kovaleva, A. (2011). The use red clover flower syrup in the production of wheat bread. *Xleboprodukty*, (5), 44–45. (In Russ.).

5. Karomatov, I.D. & Abdulakhov, I.U. (2016). Фитотерапия клевер луговой применение в медицине. *Biology and Integrative Medicine*, (5), 95–109. (In Russ.).

6. Yokoyama, S.I., Kodera, M., Hirai, A., Nakada, M., Ueno, Y. & Osawa, T. (2020). Red Clover (*Trifolium pratense* L.) Sprout Prevents Metabolic Syndrome. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, (66), 48–53. doi: 10.3177/jnsv.66.48.

7. Mohsen A., Fatemeh, K., Leila, N., Mona, P., Mohammad, Z. & Mozafar, K. (2021). Pharmacological and therapeutic properties of the Red Clover (*Tri-*

*folium pratense* L.): an overview of the new finding. *Journal Traditional Chinese Medicine*, (41), 642–649. doi: 10.19852/j.cnki.jtcm.20210324.001.

8. Akbaribazm, M., Khazaei, M.R., Khazaei, F. & Khazaei M. (2020). Doxorubicin and *Trifolium pratense* L. (Red clover) extract synergistically inhibits brain and lung metastases in 4T1 tumor-bearing BALB/c mice. *Food Science and Nutrition*, (8), 5557–5570. doi: 10.1002/fsn3.1820.

9. Khazaei, M. & Pazhouhi, M. (2019). Antiproliferative Effect of *Trifolium Pratense* L. Extract in Human Breast Cancer Cells. *Nutrition and Cancer*, (71), 128–140. doi: 10.1080/01635581.2018.1521443.

10. Korjachkina, S.J., Kuznetsova, E.A. & Kovaleva A.V. Bakery products production method. *Pat. 2463792C1. Russian Federation, published on 20.10.2012. Bull. No. 29. (In Russ.)*.

11. Sayakova, G.M., Boshkaeva, A.K. & Khamitova A.E. (2018). Determination of antioxidant activity of domestic plant raw material of red clover (*Trifolium pratense*). *Vestnik KazNMU*, (2), 282–285. (In Russ.).

12. Drenin, A.A. & Botirov, E.Kh. (2017). Flavonoids and isoflavones of plants of the genus *Trifolium* L. Structural diversity and biological activity. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, (3), 39–53. (In Russ.). doi: 10.14258/jcprm.2017031646.

13. Shevtsov, A.A., Drannikov, A.V. & Derkanosova A.A. (2020). Study of a fodder protein supplement from plant raw materials with phytobiotic properties. *Vestnik VGUIT*, V. 82. (3), 65–70. (In Russ.). doi: 10.20914/2310-1202-2020-3-65-70.

14. Ageeva, E.E., Yamashev, T.A. & Reshetnik, O.A. (2016). Study of the antioxidant and antiradical activity of extracts of red clover (*Trifoliumpratense*L.). *Vestnik KTU*, V. 9, (16), 86–88. (In Russ.).

15. Wang, B., Xiao, L., Chai, D., Jiang, Y., Wang, M., Xu., X., Li C. & Dong L. (2020). Metabolite analysis of wheat dough fermentation incorporated with buckwheat. *Food Science and Nutrition*, (8), 4242–4251. doi: 10.1002/fsn3.1720.

### Information about the authors

**A. Andreeva** – Ph. D. Student of the Faculty of Biotechnologies, ITMO University.

**M. V. Shabunina** – Student of the Faculty of Biotechnologies, ITMO University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.





Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 665.35

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.022



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВИТАМИННОГО СОСТАВА РАСТОРОПШИ ПЯТНИСТОЙ

Дарья Андреевна Кашолкина<sup>1</sup>, Мария Анатольевна Болгова<sup>2</sup>,  
Наталья Леонидовна Клейменова<sup>3</sup>, Максим Васильевич Копылов<sup>4</sup>,  
Инэсса Николаевна Болгова<sup>5</sup>

1, 2, 3, 4, 5 Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

<sup>1</sup> dasha08082000@mail.ru

<sup>2</sup> bolgova.masha20@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7464-3883>

<sup>3</sup> klesha78@list.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1462-4055>

<sup>4</sup> kopylov-maks@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2678-2613>

<sup>5</sup> bolgovainessa@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0915-8405>

**Аннотация.** Предметом исследования данной научной статьи являются семена расторопши пятнистой. Расторопша – известное лекарственное растение, богатое ценными биологически активными веществами, микро- и макроэлементами, витаминами. Расторопша относится к нутрицевтикам, исследование состава семян которых имеет практическое значение для создания продуктов функциональной направленности с целью удовлетворения физиологической потребности человека в необходимых для организма полезных веществах. Помимо этого семена расторопши могут являться биологически активной добавкой в питании. Изучение витаминного состава, содержания микро- и макроэлементов в семенах расторопши пятнистой являлось целью исследования, которое проводилось по стандартным методикам с использованием классических и спектральных методов. В ходе экспериментальных исследований в семенах расторопши пятнистой установлено присутствие β-каротина, витамина В1, витамина В2, витамина В4 и витамина Е. Самое высокое содержание имеет холин (В4). Также было установлено, что семена масличной культуры содержат железо, цинк, марганец, йод, селен, медь, хром, калий, кальций, магний, фосфор. Содержание железа, цинка преобладает среди микроэлементов, количество фосфора и кальция - среди макроэлементов. О богатстве семян расторопши ценными биосоединениями говорят полученные результаты, которые необходимы для анализа семян с целью проектирования состава пищевых продуктов с учетом рекомендаций суточного потребления витаминов и минералов. Таким образом, семена расторопши можно рекомендовать как потенциальный источник функциональных добавок при профилактическом питании и в лечебном питании в составе комплексной терапии.

**Ключевые слова:** расторопша пятнистая, витаминный состав, микроэлементы, макроэлементы, семена.

**Благодарности:** автор выражает признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования.

**Для цитирования:** Исследование витаминного состава расторопши пятнистой / Д.А. Кашолкина [и др.]. // Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 160 – 165. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.022. EDN: <https://elibrary.ru/vqmqmp>.

Original article

## STUDY OF THE VITAMIN COMPOSITION OF MILK THISTLE

Daria A. Kasholkina <sup>1</sup>, Maria A. Bolgova <sup>2</sup>, Natalia L. Kleymenova <sup>3</sup>,  
Maxim V. Kopylov <sup>4</sup>, Inessa N. Bolgova <sup>5</sup><sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia<sup>1</sup> dasha08082000@mail.ru<sup>2</sup> bolgova.masha20@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7464-3883><sup>3</sup> klesha78@list.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1462-4055><sup>4</sup> kopylov-maks@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2678-2613><sup>5</sup> bolgovainessa@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0915-8405>

**Abstract.** The subject of this scientific article is the seeds of milk thistle. Milk thistle is a well-known medicinal plant rich in valuable biologically active substances, macro and microelements, and vitamins. Milk thistle belongs to nutraceuticals, the study of the composition of the seeds of the plant is of practical importance for the creation of oils of functional value to meet the physiological needs of a person in useful substances necessary for the body. In addition, milk thistle seeds can be treated as a biologically active dietary supplement. The study of the vitamin composition, the content of micro- and macroelements in the seeds of milk thistle was the purpose of the study, carried out according to standard techniques using classical and spectral methods. In the course of experimental studies, the presence of  $\beta$ -carotene, vitamin B1, vitamin B2, vitamin B4 and vitamin E was found in the seeds of milk thistle. Choline (B4) has the highest content. The presence of  $\alpha$ -tocopherol, or vitamin E, prevents the oxidation of body lipids, including polyunsaturated fatty acids and lipid components of cells and membrane organelles. It was also found that oilseeds contain iron, zinc, manganese, iodine, selenium, copper, chromium, potassium, calcium, magnesium, phosphorus. Obtained results which have shown that milk thistle seeds are rich in valuable biocompounds, are necessary for the analysis of seeds in order to design the composition of food products, taking into account the recommendations of the daily intake of vitamins and minerals. Thus, milk thistle seeds can be recommended as a potential source of functional supplements for preventive nutrition and therapeutic nutrition as part of complex therapy.

**Keywords:** milk thistle, vitamin composition, oil, macronutrients, trace elements, seeds.

**Acknowledgements:** the author expresses gratitude to his / her colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.

**For citation:** Kasholkina, D. A., Bolgova, M. A., Kleymenova, N. L., Kopylov, M. V. & Bolgova, I. N. (2022). Study of the vitamin composition of milk thistle. *Polzunovskiy vestnik*, 3, 160-165. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.022.

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение осведомленности потребителей о здоровом питании связано с развитием науки, а также с интерпретацией науки для широкой аудитории, которые были популяризированы в журналах, телевизионных программах и в Интернете. В дополнение к сенсорным свойствам потребители ожидают, что пища положительно повлияет на их здоровье, благополучие и качество жизни.

Расторопша пятнистая в изобилии растет около дорог в России и давно признана средством от заболеваний печени и желчевыводящих путей. Она классифицируется как лекарственное растение. Также является уникальным растением, которое содержит

ряд необходимых для организма человека полезных и незаменимых веществ [1].

Расторопша пятнистая включает в себя комплекс биологически активных веществ, более значимые из них: силикристин, силидианин, силибин (флаволигнаны) [2]. Данные соединения определяют важные фармакологические свойства растения – гепатопротекторное, антиоксидатное и антитоксическое. Противовоспалительные и антиканцерогенные свойства данного растения определяют содержащиеся в семенах полифенолы [3].

На основе этой масличной культуры изготавливаются такие гепатопротекторные лекарственные средства, как легалон, карсил, силимар, силибор [4].

Растение богато витаминами группы В и Е, β-каротином, микро- и макроэлементами.

Расторопша относится к нутрицевтикам, которые используются для лечебно-профилактического питания в виде биологически активных добавок – флаволигнанов. Растение богато пищевыми волокнами, растительными компонентами [5]. Семена расторопши являются идеальным ингредиентом как для фармацевтического, так и для косметического применения [6, 7]. Кроме того, семена могут быть использованы в качестве подходящего пищевого ингредиента в продуктах с низким содержанием клетчатки.

Следует отметить тот факт, что, несмотря на достаточно хорошо изученный состав плодов, в литературных источниках практически отсутствует комплексная информация о химическом составе.

В научной литературе ограничены сведения о витаминном составе семян расторопши пятнистой и практически не встречаются данные о содержании микро- и макроэлементов. В связи с этим целью данной работы является определение химического состава в числовых показателях.

В работе [8] продемонстрировано, что погодные условия в большей степени влияют на химический состав плодов расторопши, чем агротехнические условия. Содержание макроэлементов в г/кгдм было следующим: фосфор – 6,1, калий – 4,95; кальций – 7,6; магний – 2,6. Было обнаружено высокое содержание железа – 82,3 мг/ кгдм.

Авторы Apostol L., Iorga C.S., Moşoiu C.E., Mustăţea G., & Cucu Ş.E. обнаружили, что семена расторопши отличаются высоким содержанием минералов (мг/100 г): кальция (912), магния (433), железа (80,5), цинка (7,38) и меди (2,69). Из проведенных анализов содержания минералов можно отметить, что семена расторопши пятнистой представляют собой материал с важным содержанием минералов, 100 г которого обеспечивают суточное потребление некоторых из этих элементов в соответствии с рекомендуемыми нормами потребления макро- и микронутриентов [9].

Актуальность изучения этого растения является важной стратегической задачей для расширения разнообразия доступных комплексных биологически активных добавок в функциональных продуктах питания, которые в настоящее время находятся в центре повышенного внимания.

Приобретение все большей популярности функциональных пищевых продуктов, обогащенных витаминами, минеральными

веществами связано с тем, что потребление продуктов, содержащих природные биологически активные вещества, не удовлетворяет потребности организма и недостаточно для профилактики алиментарно-зависимых заболеваний.

Цель исследования – изучение витаминного состава, содержания микро- и макроэлементов в семенах расторопши пятнистой.

## МЕТОДЫ

Объектом исследования были выбраны семена расторопши пятнистой. Проведены исследования витаминного состава семян расторопши в соответствии с нормативными документами [10-14].

Проведено исследование минеральных элементов семян расторопши пятнистой методами по ГОСТ 26573.2-2014, НСАМ № 512-МС [15,16].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследований витаминного состава семян расторопши пятнистой представлены на рисунке 1.

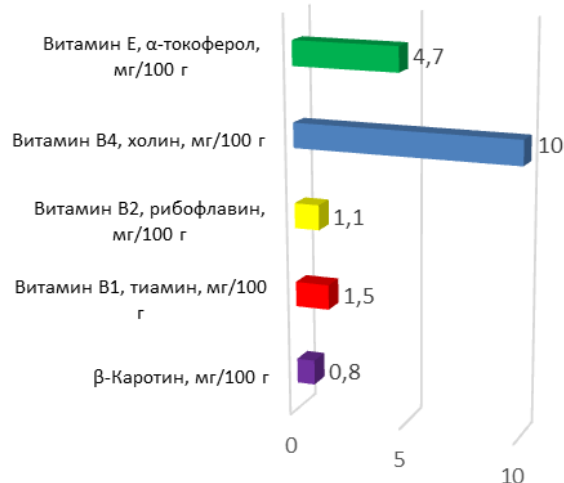


Рисунок 1 – Витаминный состав семян расторопши пятнистой

Figure 1 – Vitamin composition of milk thistle seeds

На рисунках 2 а, б и 3 представлено установленное в семенах содержание микро- и макроэлементов, соответственно.

**ОБСУЖДЕНИЕ**

В ходе исследования семян расторопши обнаружены:  $\beta$ -каротин (0,8 мг/100 г), витамин В1 (1,5 мг/100 г), витамин В2 (1,1 мг/100 г), витамин В4 (10 мг/100 г) и витамин Е (4,7 мг/100 г). Результаты полученных исследований позволяют рекомендовать для принятия в пищу семена расторопши, так как они способны удовлетворить физиологическую потребность в исследуемых веществах различных категорий населения.

Анализ данных показал, что самое высокое содержание имеет холин (В4), который играет важную роль в функционировании нервной системы, снижает уровень холестерина в крови, участвует в углеводном обмене, липидном обмене в печени, способствует снижению веса и уменьшает риск диабетов [18]. Ранее авторами было проведено исследование жирно-кислотного и химического состава коричневых и белых семян льна [17]. При сравнении результатов по двум масличным культурам выявили, что качественный состав витаминов более широко представлен в семенах льна, в количественном составе также имеются отличия. Эти данные впоследствии можно использовать при проектировании многокомпонентных комплексных сбалансированных биологически активных добавок.

Семена расторопши пятнистой содержат минеральные элементы, которые необходимы для питания человека. При исследовании образцов были обнаружены микроэлементы: марганец (12 мг/100 г), йод (11 мкг/100 г), селен (220 мкг/100 г), хром (21 мкг/100 г). Также установили содержание макроэлементов в семенах растения: калий (920 мг/100 г), кальций (1660 мг/100 г), магний (420 мг/100 г), фосфор (9600 мг/100 г).

Семена характеризуются большим содержанием микро- и макроэлементов.

Сравнительный анализ полученных результатов проводили с не подвергавшимися переработке семенами. В ходе сравнения выявлено, что в исследуемых семенах содержание микроэлементов больше: железа – в 1,8 раз, цинка – в 9,5 раз, меди – незначительно, а содержание макроэлементов: кальция – в 1,8 раз, магния – практически такое же [9]. Имеются небольшие отличия и в качественном составе.

Различия в определенной степени объясняются различиями районов произрастания расторопши пятнистой, климатическими условиями и в составе почвы.

Преимущества полученных сведений перед представленными в литературных источ-

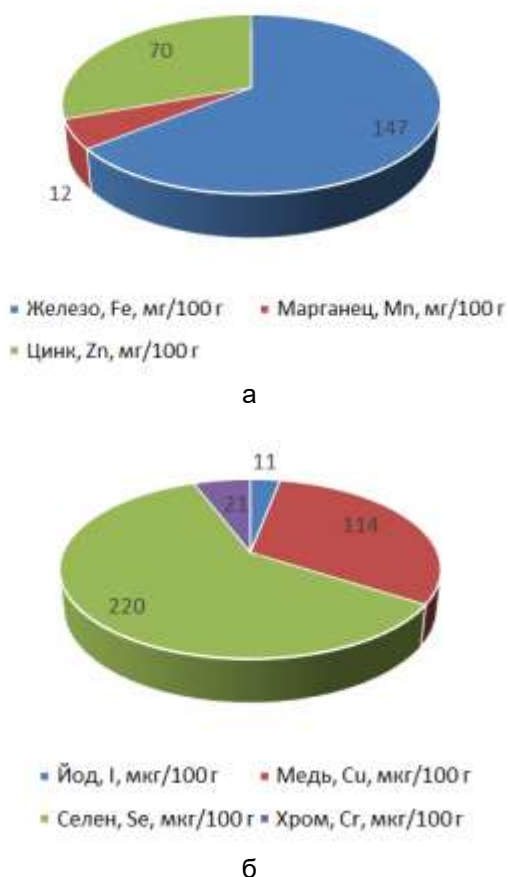


Рисунок 2 – Содержание микроэлементов в семенах расторопши пятнистой (а, б)

Figure 2 – Microelements content in milk thistle seeds (а, б)

Образцы исследовали на содержание макроэлементов, которые представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Содержание макроэлементов в семенах расторопши пятнистой

Figure 3 –The content of macronutrients in the seeds of milk thistle

никах в том, что они представляют собой комплексные данные о витаминном составе и о содержании микро- и макроэлементов вместе.

Полученные комплексные результаты необходимы при проектировании состава новых многоцелевых пищевых продуктов функционального назначения не только с учетом жирнокислотного состава, но и с учетом рекомендаций суточного потребления витаминов и минералов. Эти же сведения можно использовать в косметическом и фармацевтическом направлениях.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание, что потребители все больше и больше становятся осведомлены о качестве продуктов питания, особенно с точки зрения питания, необходимо найти новые пищевые ресурсы, богатые биологически активными соединениями. В этом отношении семена расторопши отвечают ожиданиям потребителей для получения продуктов питания, богатых ценными биосоединениями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А., Шахбанов К.Ш. Химический состав плодов и масла расторопши пятнистой, произрастающей на территории Республики Дагестан // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 113-118. doi:10.14258/jcprm.2019024441.
2. Смирнов С.О., Фазуллина О.Ф. Плоды расторопши пятнистой как перспективное сырье растительного происхождения в технологии производства биологически активных добавок к пище // Пищевая промышленность. 2018. №9. С. 8-12.
3. Milk thistle (*Silybum marianum*): A concise overview on its chemistry, pharmacological, and nutraceutical uses in liver diseases / L. Abenavoli, et al. // Phytotherapy Research. 2018. vol. 32. P. 2202-2213. doi:10.1002 / ptr.6171.
4. Кароматов И.Д., Асланова Д.К. Противоопухолевые свойства расторопши пятнистой // Биология и интегративная медицина. 2018. №10. С 56-63.
5. Nukabadi F.A., Hojjatoleslamy M., Abbasi H. Optimization of fortified sponge cake by nettle leaves and milk thistle seed powder using mixture design approach // Food Science & Nutrition. 2017. vol. 9. P. 757-771. doi:10.1007 / s10068-010-0087- x.
6. Копылов М.В., Болгова И.Н., Клейменова Н.Л., Терехина А.В., Желтоухова Е. Ю. Разработка ресурсосберегающей технологии комплексной переработки масличных культур на сырьевые компоненты // Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 7-11. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.02.002.
7. Клейменова Н.Л. Жирнокислотный состав масла семян расторопши пятнистой, полученного методом холодного прессования // Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 4 (86). С. 102-106. doi:10.20914/2310-1202-2020-4-102-106.
8. Sadowska K., Jadwiga A., Woropaj-Janczak M. Effect of weather and agrotechnical conditions on the content of nutrients in the fruits of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.) // Hortorum Cultus. vol. 10(3). 2011. P. 197-207.
9. Apostol L., Iorga C.S., Moşoiu C.E., Mustăţea G., & Cucu Ş.E. Nutrient composition of partially defatted milk

thistle seeds. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*. vol. XXI. 2017. P. 165-169.

10. ГОСТ Р 58040-2017 Комплексы витаминно-минеральные: введ. 2018-09-01. Доступ из справ. – правовой системы «Консультант плюс» (дата обращения: 04.05.2022).

11. ГОСТ 31483-2012 Премиксы. Определение содержания витаминов: В1 (тиаминхлорида), В2 (рибофлавина), В3 (пантотеновой кислоты), В5 (никотиновой кислоты и никотинамида), В6 (пиридоксина), В<sub>с</sub> (фолиевой кислоты), С (аскорбиновой кислоты) методом капиллярного электрофореза: введ. 2013-07-01. Доступ из справ. – правовой системы «Консультант плюс» (дата обращения: 04.05.2022).

12. ГОСТ 32042-2012 Премиксы. Методы определения витаминов группы В: введ. 2014-07-01. Доступ из справ. – правовой системы «Консультант плюс» (дата обращения: 04.05.2022).

13. ГОСТ EN 12823-2-2014 Продукты пищевые. Определение содержания витамина А методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Часть 2. Измерение содержания бета-каротина: введ. 2017-07-01. Доступ из справ. – правовой системы «Консультант плюс» (дата обращения: 04.05.2022).

14. ГОСТ EN 12822-2014 Продукты пищевые. Определение содержания витамина Е (альфа-, бета-, гамма- и дельта-токоферолов) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (Переиздание): введ. 2016-01-01. Доступ из справ. – правовой системы «Консультант плюс» (дата обращения: 04.05.2022).

15. ГОСТ 26573.2-2014 Премиксы. Методы определения марганца, меди, железа, цинка, кобальта: введ. 2016-01-01. Доступ из справ. – правовой системы «Консультант плюс» (дата обращения: 04.05.2022).

16. НСАМ № 512-МС. Определение элементного состава образцов растительного происхождения (травы, листья) атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами анализа – Москва. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/437145203> (дата обращения: 04.05.2022).

17. Болгова М.А., Клейменова Н.Л., Болгова И.Н., Копылов М.В. Исследование питательных веществ коричневых и белых семян льна // Ползуновский вестник. 2021. №3. С. 13-20. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.002.

18. Пилипович А.А. Применение витаминов группы В в практике врача-невролога // *Consilium Medicum*. 2020. № 9. С 82-86. doi: 10.26442/20751753.2020.9.200438.

### Информация об авторах

Д. А. Кашолкина – студент кафедры УК и ТВБ ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

М. А. Болгова – студент кафедры ТЖ, ПАХПП ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

Н. Л. Клейменова – кандидат технических наук, доцент кафедры УК и ТВБ ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

М. В. Копылов – кандидат технических наук, доцент кафедры ТЖ, ПАХПП ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

И. Н. Болгова – кандидат технических наук, доцент кафедры ТЖ, ПАХПП ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

### REFERENCES

1. Ramazanov, A.Sh., Balaeva, Sh.A. & Shaxbanov, K.Sh. (2019). Chemical composition of fruit and oil silybum marianum, growing in the territory of the republic of Dagestan. *Chemistry of plant raw materials*, (2), 113-118. (In Russ.). DOI:10.14258/jcprm.2019024441.

2. Smirnov, S.O. & Fazullina, O.F. (2018). Holy thistle seeds as a promising vegetable raw material in the technology of production of biologically active food additive. *Food industry*, (9), 8-12. (In Russ.).
3. Abenavoli, L. & Izza, A.A. & Milic, N., Cicala, C. & Santini, A. & Capasso, R. (2018). Milk thistle (*Silybum marianum*): A concise overview on its chemistry, pharmacological, and nutraceutical uses in liver diseases. *Phytotherapy Research*. 32. 2202-2213. DOI:10.1002 / ptr.6171.
4. Karomatov, I.D. & Aslanova, D.K. (2018). Antineoplastic properties of the milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.) *Biology and Integrative Medicine*, (10), 56-63. (In Russ.).
5. Nukabadi, F.A., Hojjatoleslami, M. & Abbasi H.r (2017). Optimization of fortified sponge cake by nettle leaves and milk thistle seed powder using mixture design approach *Food Science & Nutrition*, (9), 757-771. DOI:10.1007 / s10068-010-0087- x.
6. Kopylov, M.V., & Bolgova, I.N., Klejmenova, N.L., Teryohina, A.V. & ZHeltouhova, E.Yu. (2019). Razrabotka resursosberegayushchej tekhnologii kompleksnoj pererabotki maslichnyh kul'tur na syr'evye komponenty *Polzunovskij vestnik*, (2), 7-11. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.02.002.
7. Klejmenova, N.L. (2020). ZHirnokislотноj sostav masla semyan rastoropshi pyatnistoj, poluchennogo metodom holodnogo pressovaniya // *Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij*, 4 (86), 102-106. (In Russ.). DOI.org/10.20914/2310-1202-2020-4-102-106.
8. Sadowska, K., Jadwiga, A. & Woropaj-Janczak, M. (2011). Effect of weather and agrotechnical conditions on the content of nutrients in the fruits of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.) *Hortorum Cultus*, 10(3), 197-207.
9. Apostol, L., Iorga, C.S., Moşoiu, C.E., Mustăţea, G. & Cucu, Ş.E. (2017). Nutrient composition of partially defatted milk thistle seeds. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, (XXI), 165-169.
10. Vitamin-mineral complexes: (2017). HOST R 58040-2017. from 1 September 2018. Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).
11. Premixes. Determination of vitamins: B1 (thiaminchloride), B2 (riboflavin), B3 (pantothenic acid), B5 (nicotinic acid and nicotinamide), B6 (pyridoxine), B<sub>c</sub> (folic acid), C (ascorbic acid) content by method of capillary electrophoresis: (2012). HOST 31483-2012. from 1 July 2013. Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).
12. Premixes. Methods for determination of vitamin B complex: (2012). HOST 32042-2012. from 1 July 2014. Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).
13. Foodstuffs. Determination of vitamin A by high performance liquid chromatography. Part 2. Measurement of β-carotene: (2014). HOST EN 12823-2-2014. from 1 July 2017. Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).
14. Foodstuffs. Determination of vitamin E (α-, β-, γ- и δ-tocopherols) content by high performance liquid chromatography: (2014). HOST EN 12822-2014. from 1 January 2016. Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).
15. Premixes. Methods for determination of manganese, copper, iron, zinc, cobalt: (2014). HOST 26573.2-2014. from 1 January 2016. Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).
16. Opređenje elementnogo sostava obrazcov rastitel'nogo proiskhozhdeniya (travy, list'ya) atomno-emissionnym i mass-spektral'nym metodami analiza (2011). (NSAM No. 512-MS). Retrieved from – <https://docs.cntd.ru/document/437145203>.
17. Bolgova, M.A., Klejmenova, N.L., Bolgova, I.N. & Kopylov M.V. (2021). Issledovanie pitatel'nyh veshchestv korichnevyyh i belyh semyan l'na *Polzunovskij vestnik*, (3), 13-20. (In Russ.). Doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.002.
18. Pilipovich, A.A. (2020). The use of B-vitamin group in the practice of a neurologist *Consilium Medicum*, (9), 82-86. (In Russ.). DOI: 10.26442/20751753.2020.9.200438.

#### Information about the authors

*D. A. Kasholkina – Student of the Department of «Quality management and technology of aquatic bioresources department» of the FSBEI HE "VSUET".*

*M. A. Bolgova – Student of the Department of «Fat, processes and devices of chemical and food industries department» of the FSBEI HE "VSUET".*

*N. L. Klejmenova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Quality management and technology of aquatic bioresources department» of the FSBEI HE "VSUET".*

*M. V. Kopylov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of « Fat, processes and devices of chemical and food industries department » of the FSBEI HE "VSUET".*

*I. N. Bolgova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of « Fat, processes and devices of chemical and food industries department » of the FSBEI HE "VSUET".*

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*




Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 602

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.023

 EDN: PAUCIC

## ОЦЕНКА РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Николай Алексеевич Ермошин<sup>1</sup>, Сергей Александрович Романчиков<sup>2</sup>,  
Сергей Владимирович Буланов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия  
<sup>2,3</sup> Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup> e-mail ermonata@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0367-5375>

<sup>2</sup> romanchkovspb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4387-6822>

<sup>3</sup> bulanov\_serega83@mail.ru

**Аннотация.** Ремонтпригодность является одним из наиболее важных показателей надежности теплогенерирующих устройств технологического оборудования пищевых производств. Она обеспечивается на стадии их проектирования и исследуется в ходе испытания опытных образцов. Экспериментальные исследования требуют привлечения достаточно значительного количества ресурсов. В связи с этим существует необходимость разработки методов выбора конструктивных решений, обеспечивающих ремонтпригодность теплогенерирующих устройств на стадии их проектирования. Это особенно важно в условиях дефицита запасных частей, повышения их стоимости, затрат времени на их поставку в связи с разрушением логистических цепочек в условиях экономических санкций.

В статье предлагается метод оценки ремонтпригодности теплогенерирующих устройств и выбора конструктивных решений, обеспечивающих минимизацию стоимости ремонта на основе сопоставления затрат на замену конструктивного элемента новыми и их ремонт.

В качестве метода решения задачи используется анализ дискретного множества допустимых решений на ремонт или замену отдельных узлов или теплогенерирующего устройства в целом в ходе его эксплуатации.

Критериями выбора решения является минимум затрат на восполнение работоспособности теплогенерирующего устройства рассчитываемый по функции Беллмана, т.е. с использованием теории динамического программирования. Это позволяет определить оптимальный вариант конструктивного решения из множества возможных и обеспечить работоспособность принятого варианта теплогенерирующего устройства с учетом затрат на его ремонт.

**Ключевые слова:** конструктивный элемент, теплогенерирующее устройство, жизненный цикл, ремонтпригодность, надежность.

---

**Для цитирования:** Ермошин, Н. А., Романчиков, С. А., Буланов С. В. Оценка ремонтпригодности теплогенерирующих устройств технологического оборудования пищевых производств // Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 166 – 172. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.023. EDN: <https://elibrary.ru/paucic>.

---

Original article

## EVALUATION OF THE MAINTAINABILITY OF HEAT GENERATING DEVICES FOR TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF FOOD PRODUCTION

Nikolay A. Ermoshin <sup>1</sup>, Sergey A. Romanchikov <sup>2</sup>, Sergey V. Bulanov <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

<sup>2,3</sup> Military Academy of Logistics named after General of the Army A.V. Khrulev, St. Petersburg, Russia

<sup>1</sup> e-mail ermonata@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0367-5375>

<sup>2</sup> romanchkovspb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4387-6822>

<sup>3</sup> bulanov\_serega83@mail.ru

**Abstract.** *Maintainability is one of the most important indicators of the reliability of heat-generating devices for food processing equipment. It is provided at the stage of their design and is investigated during the testing of prototypes. Experimental studies require the involvement of a fairly significant amount of resources. In this regard, there is a need to develop methods for choosing design solutions that ensure the maintainability of heat generating devices at the stage of their design. This is especially important in the context of a shortage of spare parts, an increase in their cost, and the time spent on their delivery due to the destruction of supply chains in the context of economic sanctions.*

*The article proposes a method for assessing the maintainability of heat generating devices and choosing design solutions that minimize the cost of repairs based on a comparison of the costs of replacing a structural element with new ones and their repair.*

*As a method for solving the problem, an analysis of a discrete set of feasible solutions for the repair or replacement of individual units or a heat generating device as a whole during its operation is used.*

*The selection criteria for the expansion is the minimum cost of replenishing the health of the heat generating device, calculated by the Bellman function, i.e. using the theory of dynamic programming. This makes it possible to determine the optimal variant of a constructive solution from a variety of possible ones and to ensure the operability of the adopted variant of the heat generating device, taking into account the cost of its repair.*

**Keywords:** *structural element, heat generating device, life cycle, maintainability, reliability.*

---

**For citation:** Ermoshin, N. A., Romanchikov, S. A. & Bulanov, S. V. (2022). Evaluation of the maintainability of heat generating devices for technological equipment of food production. *Polzunovskiy vestnik*, 3, 166-172. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.023.

---

### ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации полевых кухонь, хлебопекарных печей и теплового оборудования (КПБМ-150, ХП-0,4 и др.) входящие в их комплект теплогенерирующие устройства (ТГУ) (отдельные блоки, элементы и др.) их эксплуатационные показатели, присущие новому оборудованию, постепенно ухудшаются. Потеря конструктивными элементами своих первоначальных показателей при эксплуатации (износ) – неотвратимый процесс, протекающий с большей или меньшей интенсивностью в зависимости от их конструкции и условий использования.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка метода оценки ремонтпригодности теплогенерирующих устройств и  
*POLZUNOVSKIY VESTNIK № 3 2022*

выбора конструктивных решений, обеспечивающих минимизацию стоимости ремонта на основе анализа дискретного множества допустимых решений на ремонт или замену отдельных узлов или теплогенерирующего устройства (ТГУ) в целом.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На рисунке 1 проиллюстрирована динамика изменения интенсивности отказов во времени.

Критическим износом (предельным состоянием) является момент выхода показателей безотказной работы и интенсивности отказов за допустимые границы, соответствующие потере работоспособности. Сущность износа состоит в снижении потреби-



тельских свойств теплогенерирующего устройства и связанной с этой потерей времени на ремонт  $t_r$  и времени на замену  $t_s$ . На рисунке 2 показаны факторы физического износа теплогенерирующего устройства. Характерной особенностью является то, что

динамика изменения интенсивности во времени является одинаковой для всех возможных типов ТГУ. Это следует из закономерности функционирования технических систем и потери их работоспособности во времени.

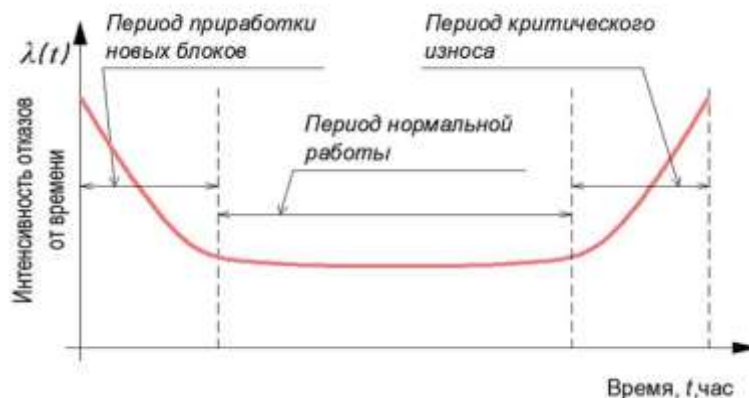


Рисунок 1 – Динамика изменения интенсивности отказов во времени

Figure 1 – Dynamics of changes in the failure rate over time

Научным обоснованием динамики изменения интенсивности отказов во времени являются постулаты математической теории надежности, разработанной Ф. Прошаном и развитой в трудах Советских и Российских исследователей. Согласно этим работам аналитически изменение отказов во времени

можно представить в виде следующей зависимости:

$$f(t) = \lambda \delta t^{\delta-1} e^{-(\lambda t^\delta)}$$

где  $\delta$  - параметр формы (определяется подбором в результате обработки экспериментальных данных,  $\delta > 0$ );  $\lambda$  - параметр масштаба.



Рисунок 2 – Факторы физического износа ТГУ

Figure 2 – Factors of physical deterioration of TSU

## ОЦЕНКА РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Как видно из рисунка использование нормативных сроков службы конструктивных элементов и теплогенерирующего устройства в целом, используемого в процессе приготовления пищи, при оценке физического износа – весьма приближенный метод. За пределами нормативного срока службы износ оборудования не равен 100 %, если ТГУ продолжает эксплуатироваться и приносить пользу. Практика показывает, что теплогенерирующие устройства многих технических средств ПродС сильно изношены с точки зрения нормативных сроков службы. Значительная часть отдельных блоков и элементов по хронологическому сроку (формуляру) имеет 100 % износ, однако активно используется при приготовлении пищи и кипятка и, следовательно, имеет возможность применения. Другая часть, напротив, практически не имея износа (исчерпания паспортного срока службы), не может применяться в полевых условиях из-за низкой сохраняемости и не возможности их применения в связи с отсутствием необходимых видов топлива и других ресурсных ограничений.

К этому следует добавить, что физический износ ТГУ в наибольшей степени зависит от интенсивности его использования. ТГУ может иметь значительный календарный «возраст» и быть менее изношенным, чем более новое, но эксплуатировавшееся интенсивнее. Физический износ конструктивных элементов уменьшается в процессе проведения регламентных ремонтов. При этом большое значение имеет качество проведения технического обслуживания (ТО).

Указанные обстоятельства свидетельствуют о существовании в системе пищевых производств важной задачи, связанной с разработкой конструктивных решений обеспечивающих ремонтпригодность теплогенерирующего устройства. Чем меньше продолжительность ремонта, тем выше эффективность теплогенерирующего устройства. В связи с этим существует необходимость принятия решения о ремонте конструктивных элементов или их замене. При сравнении вариантов конструкции теплогенерирующего устройства следует исходить не только от времени их ремонта, но и стоимости ремонта или замены. Естественно, что сама замена также потребует времени. Исходя из этого в качестве критерия оценки ремонта пригодности ТГУ ( $F_i$ ) может использоваться аддитивный критерий.

$$F_i = \left( \sum_{j=1}^n c_{ij} t_{ij} - \sum_{j=1}^n c_{ij}^* t_{ij}^* \right) \rightarrow \min,$$

где  $C_{ij}$  – стоимость замены  $j$  – конструктивного элемента,  $i$  – ТГУ;

$t_{ij}$  – время замены  $j$  – конструктивного элемента,  $i$  – ТГУ;

$c_{ij}^*$  – стоимость ремонта  $j$  – конструктивного элемента,  $i$  – ТГУ;

$t_{ij}^*$  – время ремонта  $j$  – конструктивного элемента,  $i$  – ТГУ.

*Критерием оптимальности управления в этом случае является минимизация суммарных затрат времени и стоимости ремонта ТГУ в течение планируемого периода.* Основная характеристика ТГУ – параметр состояния – это срок эксплуатации ТГУ. От срока эксплуатации ТГУ зависят эксплуатационные расходы и затраты на ремонт. В таком случае в целях оценки ремонтпригодности ТГУ на каждом этапе их эксплуатации необходимо принятие решения о том, продолжить его эксплуатацию  $U^s$  выполнить ремонт конструктивного элемента  $U^r$  или заменить конструктивный элемент  $U^z$ .

При таком подходе задача оценки ремонтпригодности вариантов конструкции ТГУ становится задачей материального программирования с дискретным множеством допустимых решений по выбору вариантов наиболее ремонтпригодных конструкций ТГУ. В порядке возможных вариантов необходимо выбрать такой из них, который имеет минимальные затраты на это исполнение по функциональному предназначению.

При такой постановке вопроса оценки ремонтпригодности выбор оптимального решения может быть представлен в виде нескольких шагов.

**Математическая постановка задачи состоит в следующем:**

Существует возможность представления работы ТГУ и его эксплуатации жизненного цикла (ЖЦ) в виде  $n$  шагов (этапов). На каждом шаге (этапе) требуется определить два вида переменных – переменную состояния ТГУ  $S$  и переменную характеризующую решение о продолжении эксплуатации, ремонта или замены конструктивного элемента ТГУ  $X$ . Переменная  $S$  определяет, в каких состояниях может оказаться объект МТБ на данном  $k$ -м шаге. В зависимости от переменной  $S$  на этом этапе можно принять некоторые организационно-экономические решения, которые характеризуются переменной  $X_k$ . Принятие

решения  $X$  на  $k$  - м этапе влечет за собой результат  $W_k(S, X_k)$  и переводит техническую систему ТГУ в некоторое новое состояние  $S'(S, X_k)$ .

Для каждого возможного состояния ТГУ на  $k$ -м этапе ЖЦ среди возможных решений выбирается такое из них ( $x_k^{opt}$ ), чтобы затраты на эксплуатацию, которые достигаются за этапы управления с  $k$ -го по  $n$ -й, оказались минимальными. Иными словами в качестве результата необходимо определить количественное значение функции Беллмана  $F_k(s)$ , которое зависит от этапа ЖЦ  $k$  и состояния ТГУ  $S$ :

$$F_k(s) = \min\{w_k(s, x_k) + F_{k+1}(\hat{s}(s, x_k))\}.$$

Порядок отыскания значения этой функции сводится к следующему.

В процессе разработки конструктивного решения на создание, модернизацию ТГУ планируется продолжительность его ЖЦ в

течении  $n$  лет. Поскольку в ходе эксплуатации ТГУ его конструктивные элементы подвержены физическому износу они требуют все больше затрат на ремонт и замену.

При этом существует возможность замены конструктивного элемента и ТГУ в целом. Необходимо найти такой вариант конструкции ТГУ из множества возможных при котором, суммарные затраты на эксплуатацию, ремонт и замену будут минимальны.

На *первом этапе* в данной методике необходимо подготовить исходные данные. Исходными данными для решения рассматриваемой задачи (таблица 1) являются расходы на ремонт конструктивных элементов ТГУ  $C(t)$  в течение одного года, стоимость новых конструктивных элементов в  $k$ -м году  $P(t)$  и начально эксплуатации ТГУ  $t_0$ .

Таблица 1 – Исходные данные для решения задачи

Table 1 – Initial data for solving the problem

Возраст $t$ (срок службы) конструктивных элементов ТГУ, лет	0	1	2	3	4	...	$n$
Суммарные затраты на восстановление $C(t)$ ТГУ в $t$ -м периоде ЖЦ, млн. руб	$C(0)$	$C(1)$	$C(2)$	$C(3)$	$C(4)$	...	$C(n)$
Стоимость закупки нового ТГУ $P(t)$ в $t$ -м году, млн. руб	$P(0)$	$P(1)$	$P(2)$	$P(3)$	$P(4)$	...	$P(n)$

*Второй этап* методики заключается в условной оптимизации функции Беллмана. В процессе реализации этого этапа отыскиваются оптимальные решения для всех возможных состояний ТГУ в начале каждого этапа ЖЦ, начиная с последнего ( $k = n, n-1, \dots, 3, 2, 1$ ). На последнем,  $k$ -м этапе, найти оптимальное решение  $x_k^{opt}$  и значение функции Беллмана  $F_n(s) = \min\{w_n(s, x_n)\}$  не является сложной задачей. Здесь минимум определяется по всем возможным значениям  $X_n$ . Последующие вычисления осуществляются согласно уравнению (1) – рекуррентному соотношению, соединяющему функцию Беллмана на каждом этапе (вначале каждого этапа жизненного цикла (ЖЦ) с функцией Беллмана, вычисленной на предыдущем этапе (вначале предыдущего этапа ЖЦ).

На *третьем этапе* вслед за тем, как функция Беллмана и соответствующие оптимальные организационно-экономические решения найдены для всех этапов с  $k$ -го по

первый, производится безусловная оптимизация функции Беллмана.

Процесс осуществляется на основе данных о состоянии ТГУ на первом этапе ЖЦ ( $k = 1$ ), которые были получены при проведении условной оптимизации функции Беллмана. Исходя из известного состояния ТГУ на первом этапе ( $S_0$ ) появляется возможность найти оптимальное решение на ремонт или замену для всех последующих  $n$ -этапов. Помимо этого можно найти оптимальное решение на первом этапе  $x_1^{opt}$ . После реализации этого решения ТГУ перейдет в новое состояние  $\hat{s}(s, x_1^{opt})$ . Зная это состояние и имея информацию по результатам условной оптимизации можно определить оптимальное решение на втором этапе  $x_2^{opt}$ . С применением такой последовательности действий отыскивается решение об использовании объекта МТБ вплоть до последнего,  $n$ -го этапа ЖЦ.

## ОЦЕНКА РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Рассмотрим алгоритм вычислений по приведенной методике.

В качестве этапа оптимизации выбора решения конструкции ТГУ по критериям ремонтно-пригодности примем этапы ЖЦ с  $k$ -го по  $n$ -й. Очевидно, что надежность ТГУ будет зависеть от того на сколько оптимально производится его ремонт и замена. Однако, величина этих затрат зависит от того сколько проработало это ТГУ, а также стоимости его замены.

В связи с тем, что процесс моделирования работы ТГУ осуществляется с последнего этапа ( $k = n$ ), на  $k$ -м году неизвестно, в какие из этапов с 1-го по  $(k-1)$ -й должна осуществляться замена ТГУ или его конструктивных элементов. к началу  $k$ -го года не известен и возраст оборудования. Вместе с тем  $t$ , не может быть больше  $t_0+k-1$ . Именно такой будет возраст оборудования за  $k-1$  год эксплуатации, если к началу 1-го этапа моделирования его срока эксплуатации составлял  $t_0$  лет. Этот срок эксплуатации не может быть меньше единицы, поскольку им будет характеризоваться ТГУ (конструктивный элемент) к началу  $k$ -го года при замене его в начале предыдущего  $(k+1)$ -го года.

Переменная  $t$  в данном случае определяет состояние ТГУ на  $k$ -м этапе жизненного цикла. Переменной управления на  $k$ -м этапе является логическая переменная, которая может принимать одно из двух значений: ремонтнопригодности (С) или заменить (З) оборудование в начале  $k$ -го года.

Функция Беллмана  $F_k(t)$  соответствует минимальным затратам на ремонт и замену оборудования за период с  $k$ -го по  $n$ -й этап, при условии, что к началу  $k$ -го этапа его срок эксплуатации был равен  $t$ -годам. Выбирая то или иное решение, осуществляется перевод ТГУ из одного состояния в другое. Если в начале  $k$ -го года ТГУ (его конструктивные элементы) не заменить, то к началу  $(k+1)$ -го года его возраст увеличится на 1 год. Объект перейдет в новое состояние  $(t+1)$ . В случае замены ТГУ (его конструктивные элементы) и приобретения нового его срока эксплуатации к началу  $(k+1)$ -го года станет равен одному году. Таким образом, шаг за шагом, с опорой на результаты предшествующих решений, осуществляется рекуррентное вычисление функции Беллмана.

Для каждого из возможных решений по управлению ТГУ суммарные затраты на их применение вычисляются как сумма двух

слагаемых – затрат на ремонт и затрат на замену. Если ТГУ возраст которого  $t$  лет сохраняется на начало  $k$ -го года, то за этот год на его ремонт и эксплуатацию будет потрачено  $C(t)$  денежных средств. К началу  $(k+1)$ -го года срок эксплуатации составит  $(t+1)$ -лет, и минимально возможные затраты за оставшиеся годы (с  $(k+1)$ -го по  $k$ -й) составят  $F_{k+1}(t+1)$ . В случае принятия решения о ТГУ, то затраты составят  $P(t)$ . К началу следующего года возраст оборудования составит 1 год, и за все годы с  $(k+1)$ -го по  $k$ -й минимально возможные затраты на применение будут  $F_{k+1}(1)$ . Из этих двух вариантов управления выбирается тот, который приносит минимальные затраты. Таким образом, определяется значение функции Беллмана  $F_k(t)$  ( $t$ ), то есть

$$F_k(t) = \min \begin{cases} C(t) + F_{k+1}(t+1) & (C) \\ P(t) + r(0) + F_{k+1}(1) & (З) \end{cases}$$

На каждом шаге нужно вычислить эту функцию для всех  $1 \leq t \leq t_0 + k - 1$ .

Решение, при котором достигаются минимальные затраты на достижение ремонтнопригодности ТГУ являются оптимальными.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Научная новизна методики состоит в том, что она, по сравнению с имеющимися, базируясь на использовании метода динамического программирования и оптимальности Р. Беллмана, позволяет принимать решения на выбор вариантов конструкции ТГУ на основе многошагового процесса с учетом минимизации времени и стоимости выполнения ремонта или замены конструктивного элемента на каждом этапе жизненного цикла теплогенерирующего устройства.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенный метод оценки ремонтнопригодности теплогенерирующих устройств и выбора конструктивных решений обеспечивает минимизацию стоимости ремонта на основе сопоставления затрат на замену конструктивного элемента новыми и их ремонт.

В отличие от известных предлагаемая методика базируется не только на критериях ремонтнопригодности, но и на критериях экономической эффективности стратегии ремонта и замены оборудования в период эксплуатации.

Предложенная методика апробирована на предприятии ООО «Специальные Промышленные Технологии» при разработке мультитопливного теплогенерирующего устройства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ermoshin N.A., Romanchikov S.A., Nikolyuk O.I. Complex Use of Various Types of Energy in Processes of Food Production and Storage // International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1079 (2021) 072034 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1079/7/072034.
2. Ermoshin N. A., Romanchikov S. A., Bragin A. N., Strogonov A.V. Methods for modifying the design of heating devices for food production based on the principles of in-plane heat conveyance // AIP Conference Proceedings 2402, 020014 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0074163>.
3. Кораблев Ю.А. Имитационное моделирование: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2017. 146 с.
4. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем: учебное пособие для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2020. 253 с.
5. Шаронов А.Н., Востряков И.В., Шатохин И.С. О результатах разработки и проведения государственных испытаний отделения подвижного хлебозавода в кузовах-контейнерах ПХК-М // Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал. 2020. № 1 (53). С. 104-119.
7. Ермошин Н.А., Романчиков С.А. Методологические аспекты научного обоснования технических решений модификации технических средств и технологического оборудования продовольственной службы // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 100-106.

### Информация об авторах

Н. А. Ермошин – доктор военных наук, профессор, профессор - Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

С. А. Романчиков – доктор технических наук, доцент кафедры (материального обеспечения) ФГКВБОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева».

С. В. Буланов – адъюнкт Вольского военного института материального обеспечения ФГКВБОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева».

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

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.

## REFERENCES

1. Ermoshin, N.A., Romanchikov, S.A. & Nikolyuk, O.I. (2021). Complex Use of Various Types of Energy in Processes of Food Production and Storage. *International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1079 072034 IOP Publishing*. doi:10.1088/1757-899X/1079/7/072034.
2. Ermoshin, N. A., Romanchikov, S. A., Bragin, A. N. & Strogonov, A.V. (2021). Methods for modifying the design of heating devices for food production based on the principles of in-plane heat conveyance. *AIP Conference Proceedings 2402, 020014*. <https://doi.org/10.1063/5.0074163>.
3. Korablev, Yu.A. (2017). *Simulation modeling: textbook*. M.: KNORUS. (In Russ.).
4. Boev, V.D. (2020). Simulation modeling of systems: a textbook for universities. M.: Yurayt Publishing House. (In Russ.).
5. Sharonov A.N., Vostryakov I.V., Shato-hin I.S. On the results of the development and conduct of state tests of the mobile bakery department in PCK-M container bodies / Sharonov A.N., Vostryakov I.V., Shatokhin I.S. // Scientific Bulletin of the Volsky Military Institute of Material Support: military Scientific journal. 2020. No. 1 (53). pp. 104-119.
7. Ermoshin N.A., Romanchikov S.A. Methodological aspects of scientific substantiation of technical solutions for modification of technical means and technological equipment of the food service /N.A. Ermoshin, S.A. Romanchikov// *Polzunovsky vestnik*. 2020. No. 2. pp. 100-106.

### Information about the authors

N. A. Ermoshin – doktor nauk wojskowych, profesor, profesor-Wyższa Szkoła Inżynierii Przemysłowej, cywilnej i drogowej, FGAOU VO "Petersburski Uniwersytet Politechniczny Piotra Wielkiego".

S. A. Romanchikov – doktorem nauk technicznych, adiunktem w katedrze (logistyki) FGKWOU VO "Wojskowa Akademia logistyki imienia generała armii A. V. Chrulewa".

S. V. Bulanov – adiunktem Wolskiego Wojskowego Instytutu wsparcia materiałowego FGKWOU VO "Wojskowa Akademia logistyki imienia generała armii A. V. Chrulewa".



Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 577:582.28(045)

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.024

 EDN: LFMEJT

## СКРИНИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУЦЕНТОВ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ СРЕДИ КУЛЬТУР ВЫСШИХ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ

Минаков Денис Викторович<sup>1</sup>, Уразова Яна Валерьевна<sup>2</sup>,  
Минакова Анастасия Александровна<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

<sup>1, 2</sup> Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия

<sup>1</sup> minakovd-1990@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4286-7783>

<sup>2</sup> urazova.iav@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6847-8487>

<sup>3</sup> nastya.sinitsyna.1994@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3850-3132>

**Аннотация.** Молокоисвертывающие ферменты находят широкое применение при производстве сыров и кисломолочных продуктов, таких как творог, йогурт, сметана. Выбор фермента определяется выходом и вкусовыми характеристиками получаемого продукта. При этом важнейшими характеристиками фермента являются субстратная специфичность, уровень общей молокоисвертывающей и протеолитической активности. В связи с дефицитом и дорогостоящей сычужного фермента в пищевой промышленности практикуют ферменты, полученные из грибных культур. Целью исследования являлись скрининг и изучение продуцентов молокоисвертывающих ферментов из культур высших базидиальных грибов. В статье представлены результаты исследований по отбору продуцентов ферментов молокоисвертывающего действия. Наиболее высокий показатель молокоисвертывающей активности (МСА) выявлен у культуры грибов *Piptoporus betulinus* (19,4 ед/мл) в сравнении с *Hericium coralloides* (13,4 ед/мл), *Hericium erinaceus* (5,7 ед/мл), *Coprinus comatus* (3,4 ед/мл) и *Grifola frondosa* (3,2 ед/мл). Установлен оптимальный состав питательной среды для культивирования мицелия грибов с наибольшей МСА, в который входят следующие компоненты, %: свекловичная меласса (30), нитрат аммония (1,5), дигидрофосфат калия (0,4), магниевый сернокислый семиводный (0,05), вода дистиллированная (до 1000 мл). Установлено, что микро- и ультрафильтрация культуральной жидкости позволяет повысить уровень молокоисвертывающей активности *P. betulinus* – на 26,8 и 96,4 %, *H. coralloides* – на 13,4 и 67,9 %, соответственно. Показатель отношения молокоисвертывающей к протеолитической активности составляет от 298 до 568, что позволяет рекомендовать культуральную жидкость для получения ферментных препаратов, применимых к использованию в сыроделии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Алтайского края в рамках научного проекта № 19-48-220008.

**Ключевые слова:** высшие грибы, культуральная жидкость, ферменты, молокоисвертывающая активность, протеолитическая активность, микрофильтрация, ультрафильтрация, питательная среда, глубинное культивирование.

---

**Для цитирования:** Минаков Д. В., Уразова Я. В., Минакова А. А. Скрининг и исследование продуцентов молокоисвертывающих ферментов среди культур высших базидиальных грибов// Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 173 – 180. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.024. EDN: <https://elibrary.ru/LFMEJT>.

---

Original article

## SCREENING AND RESEARCH OF PRODUCERS OF MILK-COAGULATING ENZYMES AMONG CULTURES OF HIGHER BASIDIOMYCETES

Denis V. Minakov <sup>1</sup>, Yana V. Urazova <sup>2</sup>, Anastasiya A. Minakova <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Altai State University, Barnaul, Russia

<sup>1,2</sup>Biysk Technological Institute (branch) FSBEI HE "Altai State University named after I.I. Polzunov", Biysk, Russia

<sup>1</sup> minakovd-1990@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4286-7783>

<sup>2</sup> urazova.iav@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6847-8487>

<sup>3</sup> nastya.sinitsyna.1994@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3850-3132>

**Abstract.** Milk-coagulating enzymes are widely used in the production of cheeses and fermented milk products, such as cottage cheese, yogurt, sour cream. The choice of the enzyme is determined by the yield and taste characteristics of the resulting product. At the same time, the most important characteristics of the enzyme are substrate specificity, the level of total milk-coagulating and proteolytic activity. Due to the shortage and high cost of rennet, enzymes obtained from mushroom cultures are practiced in the food industry. The aim of the work is to screen and study producers of milk-coagulating enzymes among cultures of higher basidial fungi. The article presents the results of research on the selection of producers of milk-coagulating enzymes. The highest indicator of milk-coagulating activity was found in the culture of *Piptoporus betulinus* (19.4 units/ml) compared to *Hericium coralloides* (13.4 units/ml), *Hericium erinaceus* (5.7 units/ml), *Coprinus comatus* (3.4 units/ml) and *Grifola frondosa* (3.2 units/ml). The composition of the nutrient medium for the cultivation of mycelium of fungi with the highest MCA has been established, which includes the following components, %: beet molasses (30),  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (1.5),  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (0.4),  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  (0.05), distilled water (up to 1000 ml). It was found that micro- and ultrafiltration of culture fluid allows to increase the level of milk-coagulating activity of *P. betulinus* by 26.8 % and 96.4 %, *H. coralloides* by 13.4 % and 67.9 %, respectively. The ratio of milk-coagulating to proteolytic activity ranges from 298 to 568, which makes it possible to recommend a culture liquid for the development of an enzyme preparation used in cheese making.

**Keywords:** higher fungi, culture liquid, enzymes, milk-coagulating activity, proteolytic activity, microfiltration, ultrafiltration, nutrient medium, deep cultivation.

**For citation:** Minakov, D. V., Urazova, Ya. V. & Minakova, A. A. (2022). Screening and research of producers of milk-coagulating enzymes among cultures of higher basidiomycetes. *Polzunovskiy vestnik*, 3, 173-180. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.024.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия из-за нецелесообразности забоя молодняка с целью получения сычужного фермента широко применяются ферменты микробиологического происхождения, близкие по свойствам к сычужному. В качестве продуцентов таких ферментов производители используют, в основном, культуры микроскопических мицелиальных грибов родов *Mucor*, *Endothia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* [1]. Однако использование в технологии производства ферментов спорообразующих микроскопических грибов сопровождается повышенным риском профзаболеваний персонала

(микозы, аллергические реакции), связанным с биологической природой применяемых продуцентов. Помимо этого, использование ферментов из микроскопических грибов часто приводит к получению сыров более низкого качества, с легким или выраженным привкусом горечи, обусловленным интенсивностью общего неспецифического протеолиза белков молока [2].

Требования к заменителям сычужного фермента являются достаточно строгими и их специфическая ферментативная активность должна быть максимально приближена к принятому за эталон сычужному ферменту, то есть при высокой молокосвертывающей активности такие препараты должны обла-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022

## СКРИНИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУЦЕНТОВ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ СРЕДИ КУЛЬТУР ВЫСШИХ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ

дать незначительной общей протеолитической активностью [3].

Успех скрининга ферментов свертывания молока в различных группах организмов разного уровня организации осложняется вышеупомянутыми жесткими требованиями. Активные протеазы с таким же действием, как у сычужного фермента, обнаружены у высших базидиомицетов. Известны продуценты ферментов среди культур высших базидиальных грибов родов *Irpex*, *Trametes*, *Fomitopsis*, *Ganoderma*, *Russula*, *Coprinus* [4, 5]. Мицелий высших грибов, в отличие от микроскопических, не проходит стадию спорообразования, что значительно упрощает технологию его культивирования, в том числе выделения и очистки фермента.

Анализ литературных данных показывает, что продолжение поиска в этой группе макромицетов может оказаться успешным. В связи с выше сказанным целью работы являлись скрининг и исследование продуцентов молокосвертывающих ферментов среди культур высших базидиальных грибов.

### Материалы и методы

В качестве объектов исследования в работе использовались культуры высших базидиальных грибов: ежевик гребенчатый (*Hericium erinaceus*), ежевик коралловидный (*Hericium coralloides*), навозник белый (*Coprinus comatus*), трутовик берёзовый (*Piptoporus betulinus*), грифола курчавая (*Grifola frondosa*), собранные в естественных местообитаниях Томской области, Алтайского и Уссурийского края. Коллекция из данных видов грибов формировалась при участии в XV и XVI Международном рабочем совещании по изучению макромицетов (г. Томск – 2018, г. Уссурийск – 2021).

Чистые культуры грибов получали споровым способом, включающим помещение спор из базидий на питательную среду сусло-агар. Для этого верхнюю часть чашки Петри смазывали небольшим количеством вазелина и приклеивали часть шляпки плодовых тел, содержащих споры. Через 12 ч происходило осаждение спор на поверхность питательной среды сусло-агар [6].

После помещения спор на поверхность сусло-агара через 3...5 суток, в зависимости от вида грибов, происходило образование воздушного мицелия. Далее воздушный мицелий пересевали в чашки Петри для получения чистой культуры. Количество пересе-

вов составляло 5–7 раз. Контроль чистоты культуры осуществляли методом световой микроскопии на наличие/отсутствие прядек и микофильных грибов.

Культуры грибов выращивали поверхностно на чашках Петри при температуре  $24 \pm 2$  °С в термостате в течение 10...14 суток до полного зарастания поверхности питательной среды. Хранение культур осуществляли при температуре  $+4...6$  °С.

Для наработки посевного материала в жидкой питательной среде использовали колбы Эрленмейера объемом 250 мл. Инокуляционные блоки мицелия в диаметре 5...10 мм вырезали с помощью скальпеля из чашек Петри и помещали в качалочные колбы с объемом среды 125 мл.

Питательные среды для глубинного культивирования биомассы грибов разделялись на натуральные и полусинтетические. В качестве натуральной среды использовали неохмеленное пивное сусло 4° по Баллингу. В состав полусинтетических питательных сред входили следующие компоненты, г/л:

1) глюкоза – 10,0, пептон – 2,5,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 0,5,  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,5, дистиллированная вода – до 1 л;

2) свекловичная меласса – 30,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – 1,5,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 0,4,  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,05, дистиллированная вода – до 1 л.

Питательную среду разливали по коническим колбам и стерилизовали в автоклаве ВК-75 при давлении 1,0 атм. в течение 30 минут. Нарботку содержащей фермент культуральной жидкости осуществляли методом глубинного культивирования в качалочных колбах объемом 250 мл на термостатируемом шейкер-инкубаторе (Biosan ES-20) при  $27 \pm 1$  °С и перемешивании со скоростью 180 об/мин.

Потребление сахаров в процессе культивирования биомассы мицелия определяли по методу Бертрана [7].

Прирост биомассы оценивали весовым методом после высушивания до постоянной массы при температуре 50 °С в сушильном электрическом шкафу.

После культивирования биомассу мицелия отделяли от культуральной жидкости центрифугированием и фильтрованием через складчатый фильтр. Микрофильтрацию культуральной жидкости проводили под вакуумом с помощью мембранных фильтров Владипор марки МФАС-ОС-2 с размером пор 0,45 мкм. Для ультрафильтрации использовали хроматографические фильтры с размером пор 0,1 мкм. Фильтраты культуральной жидкости



(КЖ) помещали в холодильную камеру (4...6 °С) до дальнейших исследований.

Определение общей молокосвертывающей активности (МСА) проводили по методу N. Mukai и M. Kawai [4, 8]. В пробирки объемом 20 мл вносили по 10 мл коровьего молока жирностью 3,2%, добавляли 1,7 мл 10% раствора хлорида кальция. Полученную смесь нагревали до температуры 35 °С на водяной бане в течение 1–2 минут. Далее в опытные пробирки вносили по 2 мл культурального фильтрата. В контрольные пробирки с молочным субстратом и хлоридом кальция добавляли 2 мл предварительно прокипяченного культурального фильтрата. Смеси в пробирках встряхивали, ставили в термостат при температуре 35 °С и начинали отсчет времени до момента образования молочного сгустка.

За единицу МСА принимали количество культурального фильтрата, которое сворачивает 100 мл коровьего молока за 40 минут при температуре 35 °С.

Общую молокосвертывающую активность рассчитывали по формуле:

$$MSA=40 \times 100 \times K / П \times 2, \text{ ед./мл,}$$

где К – коэффициент разведения изучаемого фермента;

П – время, за которое образуется плотный молочный сгусток, в минутах;

40 – среднее время производства сыра;

2 – количество внесенного фермента мл.

Определение общей протеолитической активности (ПА) проводили по стандартному методу, рекомендованному ГОСТ 20264.2-88. Для проведения анализа 0,5% раствор казеината натрия (Casein sodium salt, С8654, Sigma) растворяли в 20 мМNa-ацетатном буфере (рН=5,6). В пробирки вносили 6,0 мл субстрата и инкубировали в течение 15 минут на водяной бане при температуре 35 °С. Затем в пробирки внесли 1,5 мл исследуемого фермента. Содержимое пробирок тщательно

перемешивали и отмечали время начала инкубации при 35 °С. Через 30, 90 и 180 минут из пробирок отбирали аликвоты по 2,0 мл и вносили в 4 мл 5% раствора трихлоруксусной кислоты для остановки реакции. Полученную смесь снова тщательно перемешивали, выдерживали в течение 30 минут при 25 °С и фильтровали через складчатый бумажный фильтр. Фильтрат помещали в кварцевые кюветы (l=1 см) и определяли оптическую плотность на спектрофотометре (Shimadzu UV-1800, производство Япония) при длине волны 280 нм (A<sub>280</sub>).

В качестве контроля использовали состав: 5,0 мл 5% раствора трихлоруксусной кислоты + 0,5 мл исследуемого фермента + 2,0 мл субстрата. Протеолитическую активность выражали в единицах A<sub>280</sub>. Для расчета протеолитической активности строили график зависимости оптической плотности (A<sub>280</sub>) от продолжительности прогревания [9].

### Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлена молокосвертывающая активность (МСА) в культуральном фильтрате исследуемых штаммов грибов (таблица 1). Наибольшая МСА 19,4 ед/мл обнаружена в культуральном фильтрате (КФ) штамма *Piptoporus betulinus*. Продолжительность культивирования данного штамма составила 10 суток, выход биомассы 6,7 г/л.

При сравнении с другими видами грибов высокая МСА 13,4 ед/мл обнаружена также у штамма *Hericium coralloides*, выход биомассы которого составил 7,2 г/л через 14 суток культивирования. У штаммов грибов *H. erinaceus*, *S. comatus*, *G. frondosa* МСА составила 5,7, 3,4 и 3,2 ед/мл, что ниже МСА штамма *Piptoporus betulinus* в 3,4, 5,7 и 6,0 раза, соответственно. Выход биомассы у этих видов грибов составил от 6,8 до 14,2 г/л, с продол-

Таблица 1 – Молокосвертывающая активность, выход биомассы и продолжительность культивирования высших базидиальных грибов

Table 1 – Milk-clotting activity, biomass yield and duration of cultivation of higher basidiomycetes

Виды грибов	Продолжительность культивирования, сутки	Выход биомассы, г/л	Время коагуляции молока, минут	Молокосвертывающая активность, Ед/мл
<i>Hericiumerinaceus</i>	10	12,1±0,2	35,0±0,6	5,7±0,2
<i>Hericiumcoralloides</i>	14	7,2±0,2	15,2±0,4	13,4±0,1
<i>Coprinuscomatus</i>	10	6,8±0,2	56,0±0,4	3,4±0,2
<i>Piptoporusbetulinus</i>	10	6,7±0,2	10,5±0,2	19,4±0,1
<i>Grifolafrondosa</i>	7	14,2±0,2	62,2±0,2	3,2±0,2

## СКРИНИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУЦЕНТОВ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ СРЕДИ КУЛЬТУР ВЫСШИХ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ

жительностью культивирования от 7 до 10 суток. Таким образом, по степени убывания МСА исследуемые виды грибов расположились в следующем порядке: *Piptoporus betulinus* > *Hericium coralloides* > *Hericium erinaceus* > *Coprinus comatus* > *Grifola frondosa*.

В литературе встречается очень немного публикаций, посвященных исследованию МСА у данных видов грибов. Информации по *Piptoporus betulinus* в литературных источниках не представлено. Известно, что виды грибов *Hericium coralloides*, *Hericium coralloides*, *Coprinus comatus*, *Grifola frondosa* обладают относительно высокой МСА, составляющей, согласно разным источникам, от 3,1 ед/мл до 9,2 ед/мл [10, 11]. Многие штаммы из представленных видов обладают тромболитической и фибринолитической активностью, что неразрывно связано с МСА [4, 12–14].

Из исследуемых видов базидиомицетов наибольший практический интерес с точки зрения высокой МСА представляют грибы *Piptoporus betulinus* и *Hericium coralloides*. Поэтому дальнейшие исследования по исследованию МСА и ПА культуральных фильтратов проводились с этими культурами грибов. Следовательно, по уровню МСА исследуемые виды грибов могут представлять значительный практический интерес для организации производства ферментных препаратов.

Культивирование на питательной среде с мелассой сравнивали со стандартными средами, наиболее часто используемыми для выращивания мицелия высших грибов – глюкозо-пептонной средой и пивным суслом 4° по Баллингу.

Результаты определения МСА на различных питательных средах представлены в таблице 2. Следует отметить, что наибольшая МСА составила 19,4 ед/мл у штамма *P. betulinus* на питательной среде с мелассой, в то время как активность *H. coralloides* на этой среде была ниже в 1,44 раза. МСА куль-

туральной жидкости мицелия исследуемых видов грибов, выращенных на глюкозо-пептонной среде (ГПС) и пивном сусле, составила 16,2–18,6 и 12,1–13,4 ед/мл.

При проведении сравнительной характеристики по исследованию МСА между штаммами *P. betulinus*, *H. coralloides* и вида *Coprinus lagopides*, описанного в литературе, установлено, что МСА *P. betulinus* незначительно выше активности *C. lagopides* на ГПС. Однако активность культуры *H. coralloides* оказалась ниже в 1,3 раза на ГПС и в 1,8 раза на пивном сусле.

В глубинной культуре мицелий представлял собой крупные шарообразные скопления кремового цвета, так называемые пеллеты. Существенных различий по внешним признакам между культивируемыми видами не обнаружено.

На рисунке 1 представлены результаты исследований по изменению МСА культурального фильтрата и потреблению сахаров в процессе глубинного культивирования мицелия грибов *P. betulinus* и *H. coralloides* на среде с мелассой. Установлено, что уровень МСА продуцентов в условиях культуры зависит от содержания сахаров в питательной среде. При потреблении сахаров в субстрате 82-83% мицелием грибов *P. betulinus* и *H. Coralloides* наблюдается максимальный уровень МСА.

При сравнении с литературными данными обнаружено, что у культуры грибов *C. lagopides* также не происходит 100% утилизации сахаров в питательном субстрате, при этом наблюдается максимальный уровень МСА 13,3 ед/мл [4].

Для очистки культуральной жидкости проводили микро- и ультрафильтрацию с использованием фильтров с размером пор 0,45 мкм и 01, мкм. В таблице 3 представлены результаты исследований. Из представленных данных следует, что фильтрование культуральной жидкости *P. betulinus* под ваку-

Таблица 2 – Молокосвертывающая активность культуральной жидкости грибов на разных питательных средах

Table 2 – Milk-clotting activity of culture liquid of fungi on different nutrient media

Культуры грибов	МСА, ед/мл		
	Среда с мелассой	Глюкозо-пептонная среда	Пивное сусло 4° по Баллингу
<i>P. betulinus</i>	19,4±0,1	16,2±0,1	18,6±0,1
<i>H. coralloides</i>	13,4±0,1	12,1±0,1	13,4±0,1
<i>C. lagopides</i> *	–	16,0	24,4

\*Примечание – литературные данные [28].

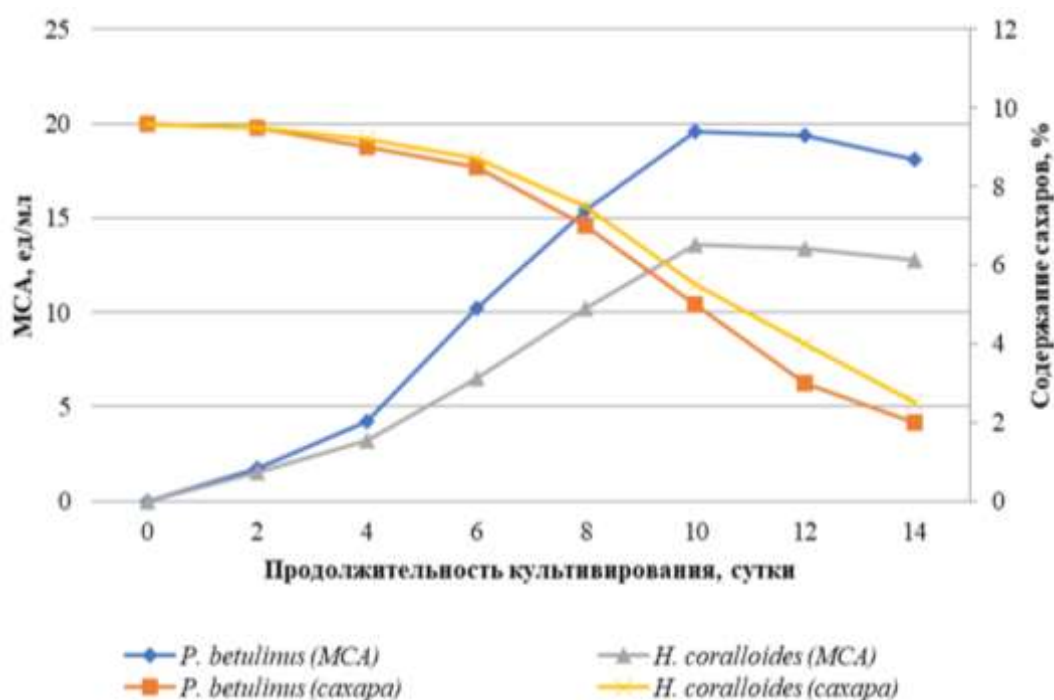


Рисунок 1 – Динамика МСА мицелия грибов и потребление сахаров в процессе глубинного культивирования

Figure 1 – Dynamics of the MSA of the mycelium of fungi and the consumption of sugars in the process of deep cultivation

Таблица 3 – Характеристика ферментативной активности микро- и ультрафильтратов культуральной жидкости грибов

Table 3 – Characterization of the enzymatic activity of micro- and ultrafiltrates of the culture liquid of fungi

Образец исследования	Культура грибов	МСА, ед/мл	ПА, ед/мл	МСА/ПА
Исходный культуральный фильтрат	<i>P. betulinus</i>	19,4±0,1	0,049	396
	<i>H. coralloides</i>	13,4±0,1	0,045	298
Микрофильтрат КЖ	<i>P. betulinus</i>	24,6±0,1	0,052	473
	<i>H. coralloides</i>	15,2±0,1	0,042	361
Ультрафильтрат КЖ	<i>P. betulinus</i>	38,1±0,1	0,067	568
	<i>H. coralloides</i>	22,5±0,1	0,065	346

умом через фильтры с размером пор 0,45 мкм (микрофльтрация) и 0,1 мкм (ультрафльтрация) позволяет повысить уровень МСА в 1,27 и 1,96 раза, соответственно. В то время как для мицелия *H. coralloides* происходит повышение МСА в 1,13 и 1,67 раз, соответственно. То есть, методы микро- и ультрафльтрации позволяют очистить культуральную жидкость от балластных белков [10].

Для более полной оценки ферментативной активности полученных препаратов необходимо, помимо МСА, проанализировать уровень протеиназной активности (ПА), отвеча-

ющей за структурные свойства сыра в процессе созревания.

ПА у микро- и ультрафильтратов *P. betulinus* составила 0,052 и 0,067 ед/г, у *H. coralloides* – 0,042 и 0,065 ед/г. Данные показатели соответствуют ПА, предъявляемой к коммерческим ферментным препаратам, полученным из грибов.

Не менее важным показателем для сыроделия является соотношение МСА к ПА. Для высококачественных сыров (полутвердых, твердых долгого периода созревания) это соотношение должно быть в пределах 1000. Для получения сыров более низкого качества и

## СКРИНИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУЦЕНТОВ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ СРЕДИ КУЛЬТУР ВЫСШИХ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ

кисломолочных продуктов это соотношение может быть около 300. У стандартного сычужного фермента, полученного из сычужков телят отношение МСА к ПА составляет 910 [4].

Расчеты показали, что отношение МСА к ПА у микро- и ультрафильтрата *P. betulinus* составляет 473 и 568, соответственно. У грибов *H. coralloides* это отношение составило 361 и 346. Таким образом, на основании проведенных расчетов, полученные образцы можно рекомендовать к применению в процессе производства мягких сыров и кисломолочных продуктов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было установлено, что наибольший выход биомассы мицелия в глубинных условиях (14,2 г/л) характерен для *G. frondosa*, наименьший – у *P. betulinus* (6,7 г/л). По продолжительности культивирования высокой скоростью роста обладал мицелий всех исследуемых видов грибов. При сравнении МСА обнаружено, что наибольшая активность наблюдается у культуры грибов *P. betulinus* 19,4 ед/мл в сравнении с *H. coralloides* (13,4 ед/мл), *H. erinaceus* (5,7 ед/мл), *S. comatus* (3,4 ед/мл) и *G. frondosa* (3,2 ед/мл). Установлено также, что фильтрование культуральной жидкости грибов *P. betulinus* и *H. coralloides* под вакуумом через фильтры с размером пор 0,45 мкм (микрофильтрация) и 0,1 мкм (ультрафильтрация) позволяет повысить уровень МСА у грибов *P. betulinus* в 1,27 и 1,96 раза, у *H. coralloides* в 1,13 и 1,67 раз, соответственно.

Согласно экспериментальным данным, уровень ПА у полученных образцов культуральной жидкости составляет от 0,042 до 0,067 ед/г. Отношение МСА к ПА у культурального фильтрата *P. betulinus* составляет 473...568, в то время как у *H. coralloides* – 346...361. Данные показатели характеризуют культуральную жидкость как перспективный объект для разработки технологии выделения и очистки молокосвертывающих ферментов, применимых для получения различных типов сыров и кисломолочных продуктов.

При обработке культуральной жидкости микро- и ультрафильтрацией выявлено увеличение МСА *P. betulinus* в 1,27 и 1,96 раза, у грибов *H. coralloides* – в 1,13 и 1,67 раз соответственно.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Алтайского края в рамках научного проекта № 19-48-220008.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cirium V.C., Vidya C., Rani A., Singh S.A. Production of highly active fungal milk-clotting enzyme by solid-state fermentation // Preparative Biochemistry and Biotechnology. 2019. V. 49 (9). P. 858-867. Doi: 10.1080/10826068.2019.1630647.
2. Lebedev L.R., Kosogova T.A., Teplyakova, T.V., Kriger A.V., Elchaninov V.V., Belov A.N., Koval' A.D. Study of technological properties of milk-clotting enzyme from *Irpex lacteus* (*Irpex lacteus* (Fr.) Fr.) // Foods and Raw Materials. 2016. V. 4. №2. P. 58-65. DOI: 10.21179/2308-4057-2016-2-58-65.
3. Lebedeva G.V., Proskuryakov M.T. Purification and characterization of milk-clotting enzymes from oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm) // Applied biochemistry and microbiology. 2009. V. 45. P. 623-625.
4. Shamtsyan M., Dmitrieva T., Kolesnikov B., Denisova N. Novel milk-clotting enzyme produced by *Coprinus lagopides* basidial mushroom // Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 2014. V. 58 (2). P. 343-347. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.10.009.
5. Zagnitko Yu.P. Some physical and chemical properties of enzymic preparations derived from strain V-02 of *Irpex lacteus* FR. Immunology // Allergology, Infectiology (Section: Fungal biotechnologies in medicine and industry). 2010. №1. P. 249-250.
6. Билай В.И. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 552 с.
7. Вишняков В.А., Хабаров Ю.Г., Камакина Н.Д. Сравнение методов определения редуцирующих веществ: метод Бертрана, збулиостатический и фотометрический методы // Химия растительного сырья. 2008. №4. С. 47-50.
8. Kawai M. Studies on Milk Clotting Enzymes Produced by Basidiomycetes // Agricultural and Biological Chemistry. 1971. V. 35 (10). P. 1517-1525. DOI: 10.1080/00021369.1971.10860118.
9. ГОСТ 20264.2-88. Препараты ферментные. Методы определения протеолитической активности. Москва: Стандартинформ, 1989. 15 с.
10. Kishimoto M., Nakamura K., Kanemaru K., Tasaki T., Nakamura T., Sato K., Tanimoto M. Crude enzymes from a *Hericium edible mushroom* isolated in Japan: variability in milk-clotting activity and the ability to coagulate ultra-high-temperature pasteurized milk // Food science and technology Research. 2018. V. 24 (1). P. 139-143. Doi: 10.3136/fstr.24.139.
11. Sato K., Goto K., Suzuki A., Miura T. Characterization of a Milk-clotting Enzyme from *Hericium erinaceum* and Its Proteolytic Action on Bovine Caseins // Food Science and Technology Research. 2018. V. 24 (4). P. 669-676. Doi: 10.3136/fstr.24.669.
12. El-Baky H.A., Linke D., Nimtz M., Berger R.G. PsoP1, a milk-clotting aspartic peptidase from the basidiomycete fungus *Piptoporus soloniensis* // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011. V. 59 (18). P. 10311-10316. Doi: 10.1021/jf2021495.
13. Yin C., Zheng L., Chen L., Tan Q., Shang X., Ma A. Cloning, expression, and characterization of a milk-clotting aspartic protease gene (Po-Asp) from *Pleurotostreatus* // Applied biochemistry and biotechnology. 2014. V. 172. P. 2119-2131. DOI: 10.1007/s12010-013-0674-4.

14. Salomao R.M., Larissa S.C.S., Leilane B. de S., Edson J. do C., Mircella M.A., Marne C. de V., Maria F.S.T. Teixeira *Pleurotus albidus*: A new source of milk-clotting proteases // *African Journal of Microbiology Research*. 2017. V. 11 (17). P. 660-667. DOI: 10.5897/AJMR2017.8520.

### Информация об авторах

Д. В. Минаков – кандидат биологических наук, доцент кафедры органической химии Алтайского государственного университета.

Я. В. Уразова – преподаватель кафедры биотехнологии Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова». аспирант 2 курса кафедры техносферной безопасности и аналитической химии Алтайского государственного университета.

А. А. Минакова – кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии Алтайского государственного университета.

### REFERENCES

1. Cirium, V.C., Vidya, C., Rani, A. & Singh, S.A. (2019). Production of highly active fungal milk-clotting enzyme by solid-state fermentation. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*. 49 (9). P. 858-867. Doi: 10.1080/10826068.2019.1630647.
2. Lebedev, L.R. et al (2016). Study of technological properties of milk-clotting enzyme from *Irpex lacteus* (*Irpex lacteus* (Fr.) Fr.). *Foods and Raw Materials*. 4(2). 58-65. DOI: 10.21179/2308-4057-2016-2-58-65. (In Russ.).
3. Lebedeva, G.V. & Proskuryakov, M.T. (2009). Purification and characterization of milk-clotting enzymes from oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm). *Applied biochemistry and microbiology*. (45). 623-625. (In Russ.).
4. Shamtsyan, M., Dmitrieva, T., Kolesnikov, B. & Denisova, N. (2014). Novel milk-clotting enzyme produced by *Coprinus lagopides* basidial mushroom. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 58 (2). 343-347. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.10.009.
5. Zagnitko, Yu.P. (2010). Some physical and chemical properties of enzymic preparations derived from strain V-02 of *Irpex lacteus* FR. *Immunology. Allergology, Infectiology (Section: Fungal biotechnologies in medicine and industry)*. (1). 249-250.
6. Bilai, V.I. (1982). Methods of experimental mycology. Kiev: Naukova dumka. (In Russ.).

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

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.

7. Vishnyakov, V.A., Khabarov, Yu.G. & Kamakina, N.D. (2008). Comparison of methods for determining reducing substances: Bertrand's method, ebullioscopic and photometric methods. *Chemistry of plant raw materials*. (4). 47-50 (In Russ.).

8. Kawai, M. (1971). Studies on Milk Clotting Enzymes Produced by Basidiomycetes // *Agricultural and Biological Chemistry*. 35 (10). 1517-1525. DOI: 10.1080/00021369.1971.10860118.

9. Enzyme preparations. Methods for determining proteolytic activity (1989). HOST 20264.2-88. M.: Standartinform. (In Russ.).

10. Kishimoto, M. et al. (2018). Crude enzymes from a *Hericium edible* mushroom isolated in Japan: variability in milk-clotting activity and the ability to coagulate ultra-high-temperature pasteurized milk. *Food science and technology Research*. 24 (1). 139-143. Doi: 10.3136/fstr.24.139.

11. Sato, K., Goto, K., Suzuki, A. & Miura, T. (2018). Characterization of a Milk-clotting Enzyme from *Hericium erinaceum* and Its Proteolytic Action on Bovine Caseins. *Food Science and Technology Research*. 201824 (4). 669-676. Doi: 10.3136/fstr.24.669.

12. El-Baky, H. A., Linke, D., Nimtz, M. & Berger, R. G. (2011). PsoP1, a Milk-Clotting Aspartic Peptidase from the Basidiomycete Fungus *Piptoporus soloniensis*. *Journal of Agricultural and Food*. 59 (18). 10311-10316. Doi: 10.1021/jf2021495.

13. Yin, C. et al. (2013). Cloning, expression, and characterization of a milk-clotting aspartic protease gene (Po-Asp) from *Pleurotus ostreatus*. *Applied biochemistry biotechnology*. 172. 2119-2131. DOI: 10.1007/s12010-013-0674-4.

14. Salomao, R. M. et al. (2017). *Pleurotus albidus*: A new source of milk-clotting proteases. *African Journal of Microbiology Research*. 11 (17). 660-667. Doi: 10.5897/ajmr2017.8520.

### Information about the authors

D. V. Minakov - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Organic Chemistry, Altai State University.

Ya.V. Urazova – 2nd year postgraduate student of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry of the Altai State University, lecturer of the Department of Biotechnology of the Biysk Technological Institute (branch FSBEI HE "Altai State Technical University named after I.I. Polzunov").

A.A. Minakova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Organic Chemistry, Altai State University.



## РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья

05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов (технические науки)

УДК 629:6777, 521

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.025



### ГИБРИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ДВУХОСНОВНЫМ СВЯЗУЮЩИМ

Виктор Борисович Маркин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия  
mvb1942@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7731-3895>

**Аннотация.** Применение композиционных материалов в современной технике достаточно разнообразно и связано с особенностями их структуры, а также комплексом физико-механических свойств, позволяющих решать сложные эксплуатационные задачи. Одной из таких задач следует признать способность полимерных композиционных материалов работать при температурах, превышающих температуру стеклования полимерного связующего. Разработка гибридных композиционных материалов, основанных на применении связующих двух классов – минерального и полимерного позволит решить ряд проблем, относящихся к повышению температурной стойкости изделий в производстве и даже коммунальном хозяйстве.

**Ключевые слова.** Композиционные материалы, минеральное связующее, жидкое стекло, эпоксидный полимер, базальтовое волокно, гибридные композиты.

---

**Для цитирования:** Маркин В.Б. Гибридные композиты с двухосновным связующим // Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 181 – 185. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.025. EDN: <https://elibrary.ru/shyxhd>.

---

Original article

### HYBRID COMPOSITES WITH BI-BASE BINDER

Viktor B. Markin

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia  
mvb1942@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7731-3895>

**Abstract.** The use of composite materials in modern technology is quite diverse and is associated with the peculiarities of their structure and a set of physical and mechanical properties that make it possible to solve complex operational problems. One of these problems should be recognized as the ability of polymer composite materials to operate at temperatures exceeding the glass transition temperature of the polymer binder. The development of hybrid composite materials based on the use of binders of two classes - mineral and polymeric - will solve a number of problems related to increasing the temperature resistance of products in production and even in public utilities.

**Keywords.** Composite materials, mineral binder, liquid glass, epoxy polymer, basalt fiber, hybrid composites.

---

**For citation:** Markin, V. B. (2022). Hybrid composites with bi-base binder. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 181-185. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.025.

---

© Маркин, В. Б., 2022

## ВВЕДЕНИЕ

Создание оптимальных конструкций из композиционных материалов невозможно без оптимизации их структуры и свойств, технически нецелесообразно и экономически неэффективно. При этом оптимизация структуры, свойств и технологии изготовления базируется на физико-химической механике и должна соответствовать заданному уровню качества готовой продукции. Особенность структуры волокнистых композитов определяет пропорциональность напряжений в матрице  $\sigma_2^i$  напряжениям в армирующих волокнах  $\sigma_1^i$ , которая может соответствовать следующим соотношением для любого слоя структуры:

$$\frac{\sigma_2^i}{\sigma_1^i} = \frac{E_2(1+\mu_{21})}{E_1(1+\mu_{12})} = const,$$

где  $E_2$  и  $E_1$  – модули упругости матрицы и армирующего волокна соответственно;  $\mu_{12}$  и  $\mu_{21}$  – коэффициенты Пуассона.

Характер такой пропорциональности определяется соотношением модулей упругости и прочностных характеристик волокна и связующего, представленным на рисунке 1. Здесь  $k = \frac{E_2}{E_1}$ , а  $k_1 = \frac{\bar{\sigma}_2}{\bar{\sigma}_1}$ , т.е. отношению предела прочности матрицы к этому же параметру армирующего волокна. При  $k > k_1$  происходит первоначальное разрушение связующего, что, естественно, приводит к разрушению композиционного материала. При  $k < k_1$  разрушение композиционного материала происходит через нарушение целостности волокна с последующим разрушением связующего.

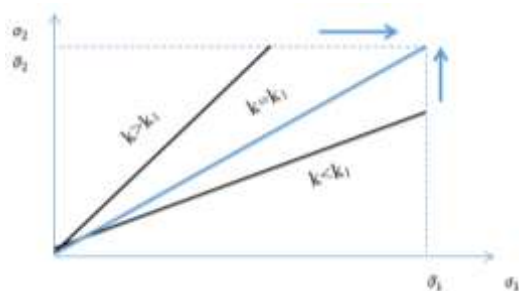


Рисунок 1 – Анализ возможных разрушений композиционных волокнистых материалов

Figure 1 – Analysis of possible destruction of composite fibrous materials

Равенство коэффициентов  $k$  и  $k_1$  соответствует идеальному случаю, когда разрушение компонентов происходит одновременно. Обычно при проектировании изделий из

композиционных материалов задаются значения модулей упругости волокна и матрицы  $E_1$  и  $E_2$ , а также предельные прочностные характеристики  $\bar{\sigma}_1$  и  $\bar{\sigma}_2$ , которые на этапе проектирования позволяют сделать прогноз о характере разрушения данной структуры при нагружении.

Приближение композита к «идеальному» теоретически возможно при увеличении предела прочности связующего (но при этом естественно возрастет и модуль упругости, т.е. ситуация не изменится), или при уменьшении модуля упругости связующего за счет введения пластификаторов (что также может привести к уменьшению прочности композита в направлении армирования). Целесообразным можно считать усовершенствование второго варианта за счет применения двухосновного связующего (рисунок 2). В начальный момент нагружения работает более жесткое связующее  $E_1$ , а затем более пластичное  $E_m$ . На границе раздела фаз отсутствует резкий скачок модуля упругости от значения  $E_f$  (волокно) до  $E_m$  (связующее), что снижает её роль в качестве концентратора напряжений.

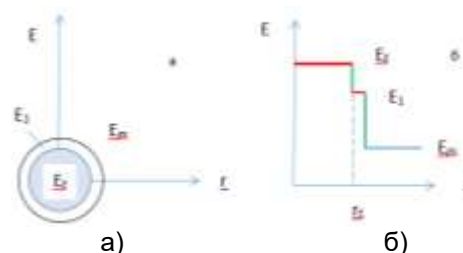


Рисунок 2 - Использование двухосновного связующего для снижения влияния границы раздела волокно-связующее на свойства композиционного материала: а – схема нанесения барьерного слоя на поверхность волокна; б – изменение модуля упругости от волокна к матрице

Figure 2 - The use of a two-base binder to reduce the influence of the fiber-binder interface on the properties of the composite material: a – the scheme of applying a barrier layer to the surface of the fiber; b - the change in the modulus of elasticity from the fiber to the matrix

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

В группе связующих минерального класса особое место отводится жидкому СТЕКЛУ. Понятие «жидкое стекло» включает в себя водные щелочные растворы силикатов, независимо от вида катиона, концентрации кремнезема, его полимерного строения и способа получения таких растворов. Прочность

наполненных композиционных материалов на основе жидкого стекла, как и других композитов, определяется многими факторами: непосредственно прочностью связующего и наполнителя, соотношением их прочностных свойств, степенью адгезионного взаимодействия между связующим и наполнителем и т.д.

В отечественной и зарубежной практике наиболее часто применяемым отвердителем жидкого стекла является кремнефтористый натрий. Его особенность заключается в том, что он не только взаимодействует со щелочью, понижая ее содержание, но и выделяет при разложении кремнекислоту, которая заметно уплотняет твердеющую систему, понижая пористость. Композиционные материалы на жидком стекле имеют довольно большую усадку при отверждении, поэтому для создания композитов, наполненных волокнами или тканями необходимо проведения исследований, направленных на уменьшение усадочных напряжений при отверждении.

Основное применение жидкостекляных композиционных материалов ограничивается строительной индустрией и литейными производствами машиностроительных предприятий. Структура таких материалов ограничивается применением дисперсных наполнителей различной природы (песок, цемент и т.д.), однако практически отсутствует информация об использовании волокнистых или тканых наполнителей (стекловолокна, стеклоткани, базальтовые волокна и ткани на их основе, углеродные волокна), хотя их совмещение со связующим на основе жидкого стекла, может привести к созданию совершенно новых типов композитов. Особое внимание нужно отнести к применению композиционных материалов в условиях повышенных температур. Для этой цели необходим разработка гибридных композиционных материалов, использующих два вида связующих: полимерное и минеральное. Роль первого состоит в повышении физико-механических характеристик материала, в то время как второе увеличивает его термостойкость. Для решения этой задачи проведены исследования возможности армирования жидкостекляных связующих стеклотканью.

Было установлено, что жидкое стекло очень хорошо пропитывает стеклоткань и после естественного затвердевания получается пластина, обладающая хорошей упругостью и способностью возвращать первоначальную форму после прекращения деформации (рисунок 3, а).

Однако минеральное связующее легко смывалось водой с поверхности образцов, а

при температуре 100°C образцы теряли прочность и легко разрушались (рисунок 3, б). Следовательно, без применения отвердителей невозможно получить композиционный материал, не взаимодействующий с водой и выдерживающий повышенную температуру.

Имеющиеся литературные источники показали, что в качестве отвердителей жидкого стекла можно использовать некоторые органические соединения (спирты, глицерины и пр.), поэтому были проведены исследования в роли отвердителей соединения, содержащие глицерин и органический краситель.



Рисунок 3 – Деформирование образца стеклоткани, пропитанного жидким стеклом, после отверждения (а) и разрушение этого образца при температуре 100°C (б)

Figure 3 – Deformation of a fiberglass sample impregnated with liquid glass after curing (a) and destruction of this sample at a temperature of 100 ° C (b)

Это позволило получать многослойные композиционные материалы (рисунок 4).

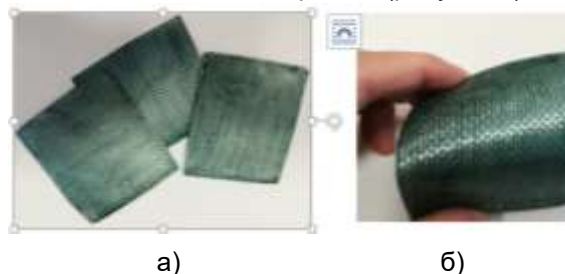


Рисунок 4 - Образцы композиционного материала на основе минерального связующего, использующего отвердитель глицерин (а) и деформация образца без растрескивания (б)

Figure 4 - Samples of a composite material based on a mineral binder using a glycerin hardener (a) and deformation of the sample without cracking (b)

На следующем этапе разработки композиционных материалов на основе жидкостекляного связующего проведены исследования применения минерального отвердителя (кремнефтористый натрий), который показывает положительный эффект при создании композитов для металлургического производства и в строительной индустрии. Рецепт жидкостекляного связующего с отвердите-



лем этого типа хорошо отработана, но применялась только для литевых дисперсно-наполненных материалов. Для получения гибридного композиционного материала были проведены исследования совмещения минеральной фазы (дисперснонаполненный композит на жидкостекольном связующем) с полимерной фазой (эпоксидная смола ЭД-22 с отвердителем ПЭПА). На рисунке 5, а показано сечение образца, полученного совмещением дисперснонаполненного минерального композита и полимерного связующего в одном технологическом процессе.



Рисунок 5 – Поперечное сечение образца, полученного совмещением дисперснонаполненного минерального композита и эпоксидного полимера (а), граница раздела минеральной и полимерной фаз (б)

Figure 5 – Cross section of the sample obtained by combining a dispersed mineral composite and an epoxy polymer (а), the interface between the mineral and polymer phases (б)

В сечении образца явно проявляется наличие трех фаз, характерных для гибридного композита: минеральная композитная основа, эпоксидный полимер и граница раздела фаз, имеющая видимые очертания и структуру (рисунок 5, б).

На основе этой технологии были изготовлены образцы гибридного композиционного материала для исследования физико-механических характеристик: испытания на сжатие и трехточечный изгиб. Исследования проведены на испытательном комплексе INSTRON в соответствии с ГОСТ 4651-82 "Пластмассы. Метод испытания на сжатие" и ГОСТ 4648-73 "Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб". Результаты испытаний приведены на рисунках 6, а и 6, б.

При испытании образцов гибридных композитов на сжатие заметны два механизма противодействия внешнему нагружению. Первый, при малых деформациях, связан с процессами в дисперсной фазе образца, а второй, при возрастающих деформациях, обусловлен механикой полимерного композита. При действии изгибающих нагрузок основную нагрузку несет полимерный композит.

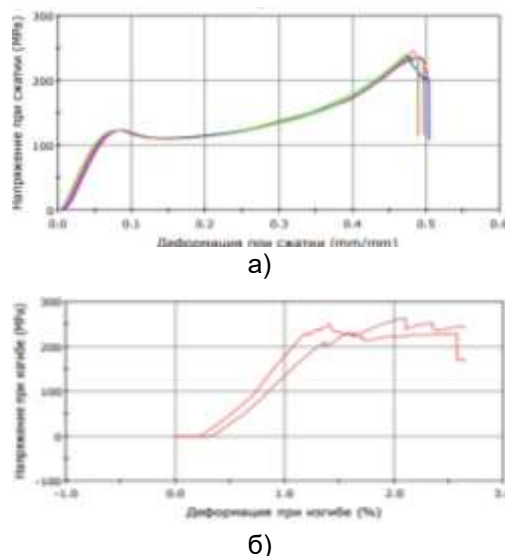


Рисунок 6 – Испытания образцов гибридных композитов на сжатие (а) и трехточечный изгиб (б)

Figure 6 – Compression (а) and three-point bending (б) tests of hybrid composite samples

Разработанная технология гибридных композиционных материалов применена в производстве композитных труб, защищенных от внутреннего огневого воздействия. Трубы такого класса могут применяться в коммунальном хозяйстве при создании систем мусоропроводов. Внутренняя часть трубы выполнена методом непрерывной намотки из композиционного материала на основе базальтового волокна и минерального связующего, а наружная часть – из базальтопластика (рисунок 7). Такая конструкция труб не подвержена горению, то есть пожаробезопасна, что позволяет её использование в высотных городских зданиях.



Рисунок 7 - Композитная труба, защищенная от внутреннего огневого воздействия применением гибридного композиционного материала

Figure 7 - Composite pipe protected from internal fire by the use of hybrid composite material

Результаты исследований гибридных композиционных материалов, совмещающих фазы минерального и полимерного композитов, послужили основанием для разработки листового композиционного материала, предназначенного для укрытия конвейеров транспортировки кокса от коксохимических батарей, на который получен патент Российской Федерации на изобретение № 2712694.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркин В. Б. Современные методы исследования материалов и процессов: учебное пособие. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. 132 с.
2. Воробей В. В., Маркин В. Б. Контроль качества изготовления и технология ремонта композитных конструкций. Новосибирск: Наука, 2006. 190 с.
3. Русских Г. И., Блазнов А. Н. Основы технологии полимерных композитов: учебное пособие. Бийск: Изд-во АлтГТУ. 2020. 145 с.
4. Патент 477149. СССР. Смесь для изготовления огнеупорного теплоизоляционного материала: заявл. 01.03.78; опубл. 07.09.1980 / Л. П. Кручинин. Бюл. N 33, 1980. МКИ С 04 В.
5. Патент на изобретение № 2712694. РФ. Листовой композитный материал : заявл.22.02.2018; опубл. 30.01.2020. / М. Д. Жумадилов, В. Б. Маркин Бюл. №4, 2018.
6. Маркин В. Б. Оптимальное проектирование конструкций из композиционных материалов: учебное пособие. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. 144 с.
7. Введенский В. Ю., Лилеев А. С., Перминов А. С. Экспериментальные методы физического материаловедения: монография. М.: Изд. Дом МИСиС, 2011. 310 с.
8. Буланов И. М., Воробей В. В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. 516 с.
9. Основы технологии переработки пластмасс; под ред. В. Н. Кузнецова, В. К. Гусева. М.: Химия, 2004. 596 с.
10. Композиционные материалы: Справочник / В. В. Васильев [и др.]; Под общ. Ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнапольского. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.

#### Информация об авторах

*В. Б. Маркин – д.т.н., профессор Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*

#### REFERENCES

1. Markin, V. B. (2017). *Sovremennye metody is-sledovaniya materialov i processov: uchebnoe posobie*. Barnaul: Izd-vo AltGTU. (In Russ.).
2. Vorobej, V. V. & Markin, V. B. (2006). *Kontrol' ka-chestva izgotovleniya i tekhnologiya remonta kom-pozitnyh konstrukcij*. Novosibirsk: Nauka. (In Russ.).
3. Ruskikh, G. I. & Blaznov, A. N. (2020). *Osnovy tekhnologii polimernyh kompozitov: uchebnoe posobie*. Bijsk: Izd-vo AltGTU. (In Russ.).
4. Kruchinin, L. P. (1980). *Smes' dlya izgotovleniya ogneupornogo teploizyacionnogo materiala*. *Patent 477149. SSSR. opubl. 07.09.1980*, Bull. N 33. (In Russ.).
5. Zhumadilov, M. D. & Markin, V. B. (2018). *Listovoj kompozitnyj material*. *Patent 2712694. RF, opubl. 30.01.2020*, Byul. №4(In Russ.).
6. Markin, V. B. (2016). *Optimal'noe proektirovanie konstrukcij iz kompozicionnyh materialov: uchebnoe posobie*. Barnaul: Izd-vo AltGTU. (In Russ.).
7. Vvedenskij, V. YU., Lileev, A. S. & Perminov, A. S. (2011). *Eksperimental'nye metody fizicheskogo materialovedeniya: monografiya*. M.: Izd. Dom MISiS. (In Russ.).
8. Bulanov, I. M. & Vorobej, V. V. (1998). *Tekhnologiya raketnyh i aerokosmicheskikh konstrukcij iz kom-pozicionnyh materialov: uchebnik dlya vuzov*. M.: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana. (In Russ.).
9. *Osnovy tekhnologii pererabotki plastmass*. (2004). *Pod red. V. N., Kuznecova, V. K., Guseva*. M.: Himiya. (In Russ.).
10. V. V. Vasil'ev & ed. (1990). *Kompozicionnye materialy: Spravochnik. Pod obshch. Red. V. V., Vasil'eva, YU. M., Tarnapol'skogo*. M.: Mashinostroenie. (In Russ.).

#### Information about the authors

*V. B. Markin – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Polzunov Altai State Technical University.*



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭФИРНОГО МАСЛА ИЗ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА

Игорь Викторович Мацкевич<sup>1</sup>, Виктор Николаевич Невзоров<sup>2</sup>,  
Жанна Александровна Кох<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия

<sup>1</sup> [MatskevichV@mail.ru](mailto:MatskevichV@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4270-1599>

<sup>2</sup> [nevzorov1945@mail.ru](mailto:nevzorov1945@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3355-4451>

<sup>3</sup> [jannetta-83@mail.ru](mailto:jannetta-83@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4016-7596>

**Аннотация.** Для производства эфирных масел в России имеется большой перечень эфиромасленичного сырья которое можно использовать для промышленного производства эфирных масел. Эфирные масла используются в медицине, косметологии и пищевой промышленности. Многие виды масел используются в качестве ароматизаторов и пищевых добавок. Высокая стоимость импортного сырья и условия санкций заставляют искать источники эфирных масел внутри страны. Можжевельник является вторым по разнообразию среди хвойных деревьев. Препараты, получаемые из древесной зелени можжевельника широко применяются в медицине благодаря значительному содержанию в древесной зелени различных специализированных метаболитов таких как кумарины, флавоноиды, лигнаны, стеролы и терпеноиды, что сделало растение *Juniperus* фармацевтически ценными. Производство эфирного масла из растений рода *Juniperus* с использованием технологического процесса методом дистилляции предполагающий использование высоких температур (дистилляция, паровая дистилляция и др.), приводят к потерям некоторых летучих веществ и разложению ненасыщенных или сложноефирных соединений за счет термического или гидролитического воздействия. Целью данного исследования являлось совершенствование технологии производства эфирного масла из древесной зелени и плодов можжевельника с использованием нового технологического оборудования, обеспечивающее сокращение его продолжительности, повышения выхода и качества, вырабатываемого можжевелевого эфирного масла. Объект исследования – древесная зелень растений рода *Juniperus* (*Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*) заготовленная в Братском районе Иркутской области в сентябре 2021 года. Результаты выполненных исследований показали, что производство эфирного масла из растения рода *Juniperus* является сложным технологическим процессом из-за сложности структурного разрушения клеток при существующих технологиях и продолжительным по времени. Разработка новой технологии и оборудования позволили обеспечить повышение производительности аппарата и сокращения продолжительности технологической переработки сырья одной загрузки достигается за счет интенсификации процесса паровой обработки эфиромасличного сырья водяным паром, который, проходя через измельченное сырье, перемешивается с частицами эфирного масла, увлекая их за собой в холодильник и далее во флорентину, где происходит разделение конденсата на масло-сырец и флорентинную воду.

**Ключевые слова:** исследование, эфирные масла, дистилляция, патент, оборудование, можжевельник обыкновенный, можжевельник сибирский, можжевельник казацкий, показатель преломления, относительная плотность.

---

**Для цитирования:** Мацкевич И. В., Невзоров В. Н., Кох Ж. А. Совершенствование технологии производства эфирного масла из можжевельника // Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 186 – 193. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.026. EDN: <https://elibrary.ru/xztjbu>.

---

## IMPROVEMENT OF JUNIPER ESSENTIAL OIL PRODUCTION TECHNOLOGY

Igor V. Matskevich <sup>1</sup>, Viktor N. Nevzorov <sup>2</sup>, Zhanna A. Koch <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup> MatskevichV@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4270-1599>

<sup>2</sup> nevzorov1945@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3355-4451>

<sup>3</sup> jannetta-83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4016-7596>

**Abstract.** For the production of essential oils in Russia there is a large list of essential oil raw materials that can be used for the industrial production of essential oils. Essential oils are used in medicine, cosmetology and food industry. Many types of oils are used as flavorings and food additives. The high cost of imported raw materials and the conditions of sanctions force us to look for sources of essential oils inside the country. Juniper is the second most diverse among conifers. Juniperus herbs are used extensively in medicine due to the abundance of specialized metabolites such as coumarins, flavonoids, lignans, sterols and terpenoids that make Juniperus plants of pharmaceutical value. The production of Juniperus essential oil using distillation technology at high temperatures (distillation, steam distillation, etc.) leads to the loss of some volatiles and decomposition of unsaturated or ester compounds through thermal or hydrolytic effects. The aim of the study was to improve the production technology of essential oil from Juniperus herbs and fruits, using new technological equipment. The object of the study was Juniperus herbs (*Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*) harvested in Bratsk district of Irkutsk region in September 2021. The results of this research showed that the production of essential oil from Juniperus plants is a complex technological process because of the complexity of the structural destruction of the cells with the existing technology and is time-consuming. Development of new technology and equipment have provided an increase in productivity of the device and reduction of duration of technological processing of raw materials of one load is reached due to intensification of process of steam processing of essential oil raw materials by water steam which, passing through the crushed raw materials, mixes with essential oil particles, taking them behind in the refrigerator and further to Florentina where separation of condensate on oil-raw and Florentine water takes place.

**Keywords:** study, essential oils, distillation, patent, equipment, *Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*, refractive index, relative density.

**For citation:** Matskevich, I. V., Nevzorov V. N., Koch Zh. A. (2022). Improvement of juniper essential oil production technology. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 186-193. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.026.

### ВВЕДЕНИЕ

Выполненные исследования [3-6] показали, что для производства эфирных масел в России имеется большой перечень эфиромасленичного сырья которое можно использовать для промышленного производства эфирных масел. Выполненный анализ биоразнообразия растительных ресурсов позволил выделить специфический биообъект – растения рода *Juniperus*. Эфирные масла определяются как летучие вторичные метаболиты растений, которые придают растению характерный запах и вкус. Эфирные масла используются в медицине, косметологии и пищевой промышленности. Многие виды масел используются в качестве ароматизаторов и пищевых добавок. Высокая стоимость им-

портного сырья и условия санкций заставляют искать источники эфирных масел внутри страны. Содержание и выход эфирных масел зависят от множества факторов: условий произрастания, освещенности, влажности, сроков хранения сырья и множества других [1].

Можжевельник является вторым по разнообразию среди хвойных деревьев. Препараты, получаемые из древесной зелени можжевельника широко применяются в медицине благодаря значительному содержанию в древесной зелени различных специализированных метаболитов таких как кумарины, флавоноиды, лигнаны, стеролы и терпеноиды, что сделало растение *Juniperus* фармацевтически ценными [1].

Помимо ягод, ветки, хвоя и древесина можжевельника содержат эфирные масла.

Выход масла зависит от сезонных колебаний, условий окружающей среды (температура, свет, фотопериод), возраста растения, широты и высоты места произрастания, избирательного повреждения местными травоядными и других факторов. Средний выход эфирного масла варьируется от 0,47 до 0,75 % в высушенной хвое молодых веток можжевельника и 0,1-0,28 % в высушенных ветвях в зависимости от месяца сбора [1, 7].

Производство эфирного масла из растений рода *Juniperus* с использованием технологического процесса методом дистилляции предполагающий использование высоких температур (дистилляция, паровая дистилляция и др.), приводят к потерям некоторых летучих веществ и разложению ненасыщенных или сложноефирных соединений за счет термического или гидролитического воздействия, время извлечения эфирного масла по традиционным методам составляет 24-26 часов [1, 3, 6].

Производство эфирного масла включает в себя несколько, тесно связанных между собой этапов. Каждый из традиционных методов выделения эфирных масел имеет свои преимущества и недостатки. Гидродистилляция позволяет получать эфирные масла с низким выходом, содержащие несколько побочных продуктов процесса дистилляции, этот метод наиболее часто используется для извлечения эфирных масел из сырья, часто используется для извлечения эфирных масел из сырого растительного сырья. Эфирное масло извлекается при температурах ниже точек кипения его составляющих, что позволяет отделить термочувствительные соединения. Гидродистилляция, обеспечивающая хорошее качественное эфирное масло, осуществляется относительно простым и без-

опасным способом и является экологически чистым. Преимущества этого метода заключаются также в том, что летучие компоненты конденсируются в воду, а пар вытесняет атмосферный кислород, защищая летучие вещества от окисления. Его недостатками являются высокое энергопотребление потребление энергии и нагревание растительного сырья до высоких температур [1-3]. Вовремя гидродистилляции повышение температуры вызывает повышение давления в растительных органах, содержащих эфирное масло. Как только давление повышается выше определенного уровня, клеточные стенки разрушаются и эфирное масло высвобождается. Часть эфирного масла высвобождается с внешних поверхностей частиц растения, но оставшаяся часть должна диффундировать из внутренней части растительных частиц к их внешней поверхности. Затем пар уносит эфирное масло с внешней поверхности растительных частиц. В настоящее время на многих парфюмерных предприятиях используется технология, позволяющая перерабатывать растительное сырье для получения эфирных масел, путем паровой дистилляции [1, 2].

Аппаратурная схема представлена на рисунке 1. Для извлечения эфирных масел из растительного сырья, применяют метод паровой дистилляции. Эфирные масла извлекают отгонкой с водяным паром (паровой экстракцией). При этом эфирное масло в присутствии паров воды переходит в паровую фазу, пар уносит эфирные масла с собой, затем пар и эфирные масла конденсируются и отделяются от воды в специальном гравитационном сепараторе (флорентийской склянке или флорентийке) [6].

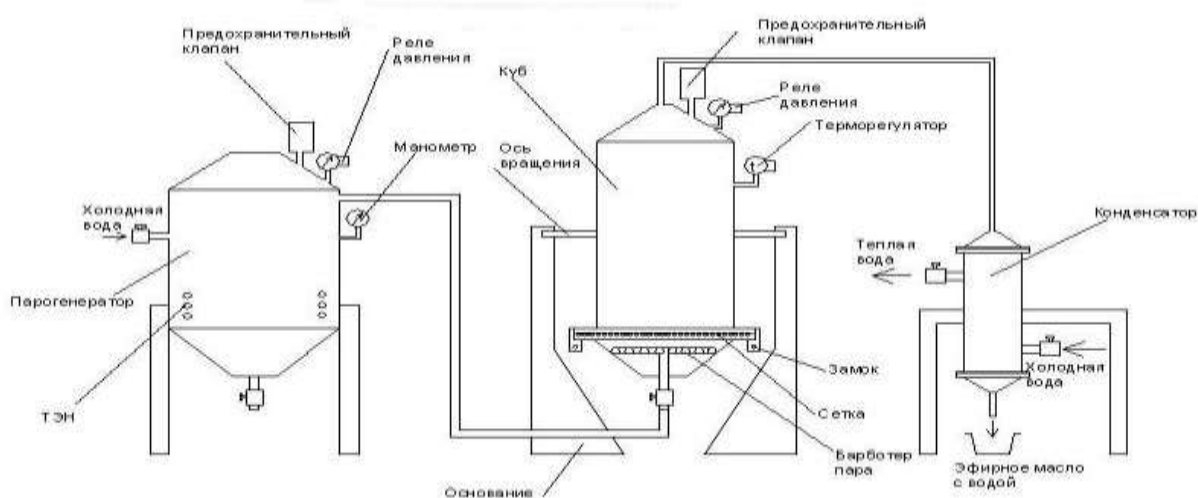


Рисунок 1 – Аппаратурная схема получения эфирного масла из растительного сырья [1].

Figure 1 – Hardware scheme for obtaining essential oil from vegetable raw materials [1].

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭФИРНОГО МАСЛА ИЗ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА

Основным недостатком использования технологической схемы, представленной на рисунке 1, является низкая производительность отгонки эфирного масла из-за сниженной температуры острого пара при контакте с сырьем и невозможностью активного воздействия на сырье в процессе экстракции.

Целью данного исследования являлось совершенствование технологии производства эфирного масла из древесной зелени и плодов можжевельника с использованием нового технологического оборудования, обеспечивающее сокращение его продолжительности, повышения выхода и качества, вырабатываемого можжевелевого эфирного масла.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить существующие технологии по извлечению можжевелевого эфирного масла.
2. Разработать новую технологию извлечения эфирного масла из древесной зелени и ягод можжевельника.
3. Провести лабораторные исследова-

ния выхода можжевелевого эфирного масла и длительность технологического процесса в соответствии с существующей и новой технологией получения эфирного масла.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – древесная зелень растений рода *Juniperus* (*Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*) заготовленная в Братском районе Иркутской области в сентябре 2021 года. После сбора древесную зелень измельчали до частиц размером 2 – 5 мм. Влажность исследуемых образцов сырья составляла 65 -70 %. Извлечение эфирного масла проводили из навески сырья весом 200 г с использованием дистиллированной воды в соотношении сырье: вода (1:6) в колбе объемом 1 л с обратным холодильником. В полученных образцах эфирного масла определяли массовую долю масла, относительную плотность и показатель преломления. [8-10].

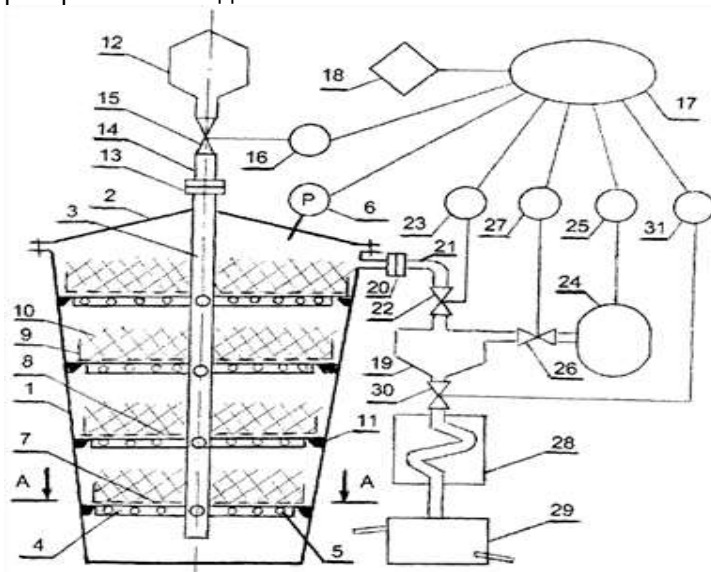


Рисунок 2 – Импульсная установка для производства эфирного масла из древесной зелени и плодов можжевельника

Figure 2 – Pulse plant for the production of essential oil from woody greens and juniper fruits

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам научных исследований была разработана импульсная установка на основании полученного патента РФ на изобретение №2465308 [11]. Импульсная установка для производства эфирного масла из древесной зелени и плодов можжевельника приведена на рисунке 2.

Импульсная установка работает следующим образом. Измельченная древесная зелень и

плоды можжевельника 10 укладывается на загрузочные решетки 7 с отверстиями 8, имеющие борта 9, и устанавливается на кольцевые упоры 11 в герметичный контейнер 1, после чего аппарат герметизируется с помощью крышки 2 и подготавливается к работе: соединяются трубные разъемы 13 и 20, включаются в сеть питания парогенератор 12, источник энергии 18 и вакуумный насос 24, который включается приводом 25, подключенного к блоку управления 17, запитанного от источника энергии 18. Блок управления 17

включает привод 27, который открывает запорный клапан 26 и создается разрежение в промежуточной емкости 19. Блок управления 17 с помощью привода 16 открывает запорный клапан 15. Водяной пар от парогенератора 12 через паропровод 14 и трубный разъем 13 поступает в полость парораспределителя 3 и далее расходится по барботерам 4, истекая из отверстий 5. Происходит резкое повышение давления, пар осуществляет одновременный нагрев и насыщение влагой (набухание) всей массы сырья, находящегося в герметичном контейнере 1. При достижении заданного уровня давления водяного пара в контейнере 1 датчик давления 6 передает сигнал в блок управления 17, который через привод 16 закрывает запорный клапан 15 и прекращается подача пара в контейнер 1. Затем блок управления 17 подает сигналы на приводы 23 и 27, первый открывает запорный клапан 22, а второй закрывает запорный клапан 26. Взрывообразно вырывается пар с частицами эфирного масла из контейнера 1 в промежуточную емкость 19 через трубный разъем 20, паропровод 21 и клапан 22. При этом происходит интенсивное кипение жидкости, в том числе в клетках сырья, разрушая его. Частицы, насыщенные влагой, взрываются. В результате нарушается сплошность клеточных мембран эфиромасличного сырья, что приводит к резкому падению его диффузионного сопротивления и многократному увеличению поверхности контакта фаз, увеличивая интенсивность процесса паровой обработки сырья.

Образовавшиеся в результате отгонки пары воды с частицами эфирного масла скапливаются в резервной емкости 19. Блок управления 17 через привод 31 открывает запорный клапан 30 и пары воды с частицами эфирного масла из резервной емкости 19 по-

ступают в холодильник 28, где конденсируются. Образовавшийся дистиллят воды и масла стекает из холодильника 28 во флорентину 29. Здесь он разделяется на масло-сырец и флорентинную воду. После завершения этого процесса запорные клапаны 22 и 30 закрываются приводами 23 и 31 от блока управления 17. Затем блок управления 17 снова включает привод 27, который открывает запорный клапан 26 и создается разрежение в промежуточной емкости 19. Блок управления 17 с помощью привода 16 открывает запорный клапан 15. Водяной пар от парогенератора 12 через паропровод 14 и трубный разъем 13 поступает в полость парораспределителя 3 и процесс повторяется.

Проведенная серия исследований по извлечению можжевельного эфирного масла из измельченной древесной зелени с плодами можжевельника показали, при применении существующих технологий процесс дистилляции эфирного масла по времени выполнения технологического процесса является длительным и занимает в среднем 18-20 часов.

Полученные результаты лабораторных исследований показали, что зависимость выхода можжевельного эфирного масла и длительность технологического процесса можно представить в виде уравнения связи, следующего вида:

$$M = -3,05 + 1,47T - 0,03T^2$$

где  $M$  - выход можжевельного эфирного масла, г,  $T$  - продолжительность технологического процесса, ч.

Теснота связи между переменными  $M$  и  $T$  характеризуется коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,84$ .

Графически уравнение связи между выходом можжевельного масла и продолжительности технологического процесса по существующим технологиям представлен на рисунке 3.

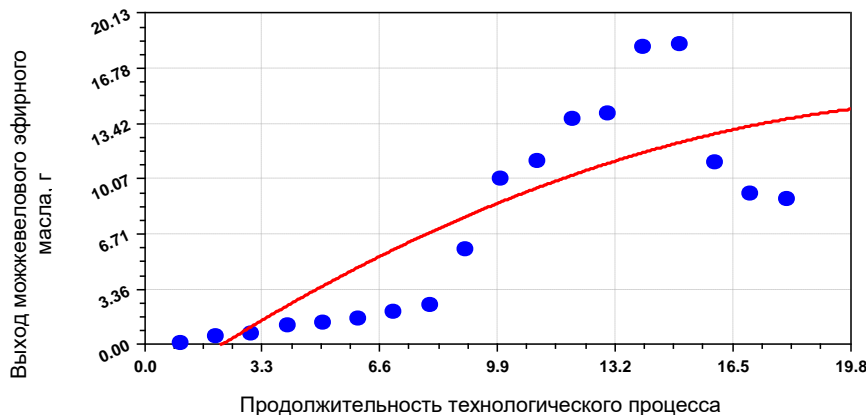


Рисунок 3 – Зависимость выхода можжевельного эфирного масла от длительности технологического процесса по существующим технологиям

Figure 3 – Dependence of the yield of juniper essential oil on the duration of the technological process according to existing technologies

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭФИРНОГО МАСЛА ИЗ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА

Анализ представленного графика представленный на рисунке 3 показывает, что процесс дистилляции эфирного можжевельного масла при существующих технологиях происходит в два этапа по выходу эфирного можжевельного масла. Существенный выход эфирного масла происходит, начиная с 7 часов до 16 часов, затем темпы выхода эфирного масла снижаются в течение 3-4 часов.

После изготовления нового лабораторного технологического оборудования по патенту ( ) были проведены лабораторные исследования выхода можжевельного эфирного масла с использованием разработанной технологии по сокращению времени технологического процесса. Полученные результаты лабораторных исследований выполненные по новой технологии показали что зависимость выхода

можжевельного эфирного масла и длительность технологического процесса можно представить в виде уравнения связи, следующего вида:

$$M = -0,03 + 5,76T - 0,48T^2$$

где M - выход можжевельного эфирного масла, г, T- продолжительность технологического процесса, ч.

Теснота связи между переменными M и T характеризуется коэффициентом детерминации  $R^2=0,98$ .

Графически уравнение связи между выходом можжевельного масла и продолжительности технологического процесса по существующим технологиям представлен на рисунке 4.

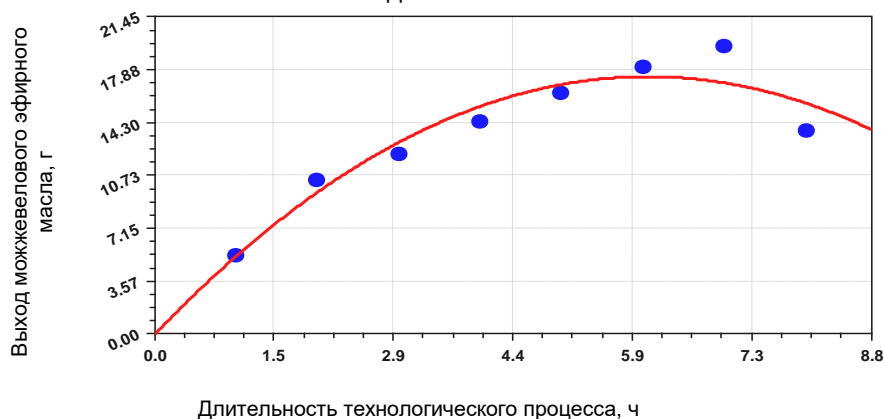


Рисунок 4 – Зависимость выхода можжевельного эфирного масла от длительности технологического процесса по новой разработанной технологии

Figure 4 – Dependence of the yield of juniper essential oil on the duration of the technological process according to the newly developed technology

Анализ представленного графика представленный на рисунке 4 показывает, что процесс дистилляции эфирного можжевельного масла по новой разработанной технологии происходит в один этап, с равномерным выходом эфирного можжевельного масла, Существенный выход эфирного масла продолжается до 6,5, затем темпы выхода эфирного масла снижаются в течение 2 часов.

Полученные образцы можжевельного

эфирного масла (таблица 1) были исследованы на основные качественные показатели в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 280 – 2014 Масла эфирные. Метод определения показателя преломления использовали рефрактометр. Для определения относительной плотности эфирного масла использовали ГОСТ ISO 279 – 2014 Масла эфирные. Метод определения относительной плотности при температуре 20°C.

Таблица 1 – Показатели качества эфирных масел

Table 1 – Quality indicators of essential oils

Наименование эфирного масла	Способ извлечения эфирного масла			
	по существующим технологиям		по новой разработанной технологии	
	Относительная плотность, г/см <sup>3</sup>	Показатель преломления	Относительная плотность, г/см <sup>3</sup>	Показатель преломления
<i>Juniperus communis</i>	0,891	1,4898	0,896	1,4908
<i>Juniperus sibirica</i>	0,859	1,4691	0,873	1,4730
<i>Juniperus sabina</i>	0,863	1,4701	0,873	1,4723



Анализ таблицы 1 показывает, что наиболее эффективным является способ по новой разработанной технологии, относительная плотность исследуемых образцов составила для *Juniperus communis* 0,895 г/см<sup>3</sup>, *Juniperus sibirica* 0,871 г/см<sup>3</sup>, *Juniperus sabina* 0,872 г/см<sup>3</sup> что соответствует требованиям, предъявляемым к эфирным маслам.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований показали, что производство эфирного масла из растения рода *Juniperus* является сложным технологическим процессом из-за сложности структурного разрушения клеток при существующих технологиях и продолжительным по времени. Разработка новой технологии и оборудования позволили обеспечить повышение производительности аппарата и сокращения продолжительности технологической переработки сырья одной загрузки достигается за счет интенсификации процесса паровой обработки эфиромасличного сырья водяным паром, который, проходя через измельченное сырье, перемешивается с частицами эфирного масла, увлекая их за собой в холодильник и далее во флорентину, где происходит разделение конденсата на масло-сырец и флорентинную воду.

*Работа выполнена при поддержке Краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках выполнения научных исследований и разработок по проекту «Разработка и изготовление малогабаритной модульной установки для производства можжевельного эфирного масла в районах Арктики и Крайнего Севера», проект № 2021110907919.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткаченко К.Г. Флора России – потенциальный источник перспективных эфиромасличных растений // Научный и инновационный потенциал развития производства, переработки и применения эфиромасличных и лекарственных растений. Материалы Международной науч.-практ. конференции. 2019. С. 7-144.
2. Сокращение сброса пихтового масла при его производстве / Т.В. Невзорова [и др.]. // Вестник КрасГАУ. 2011. № 10(61). С. 201-204.
3. Невзоров, В. Н., Кох Ж. А., Мацкевич И. В. Совершенствование процесса отгонки эфирного масла из семян черной смородины // Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия. г. Нальчик: ФГБОУ

ВО "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова", 2021. С. 148-152.

4. Эфирные масла хвойных сибирских растений Красноярского края как объект регионального экспорта / В.Н. Невзоров [и др.], // Приоритетные направления развития регионального экспорта продукции АПК: Мат-лы Междунар. науч.-практ. конференции, Красноярск, 13–20 ноября 2019 года. Красноярск: Красноярский госуд. Аграр.ун-тет, 2019. С. 102-106.

5. Ткаченко К. Г., Варфоломеева Е. А. Эфирные масла – репелленты и/или инсектициды. Перспективы использования для защиты растений // Инновационное развитие экономики. Материалы второго Крымского инвестиционного форума. ФГБУН «НИИСХ Крыма, Науч.-техн. Союз Крыма. 2020. С. 109 – 114.

6. Ткаченко К. Г., Зенкевич И. Г., Коробова М. М. Особенности переработки растительного сырья для увеличения выхода эфирных масел // Растительные ресурсы. 1998. Т. 34. Вып. 3. С. 129-137.

7. Ткаченко К. Г. Эфирномасличные растения и эфирные масла: достижения и перспективы, современные тенденции изучения и применения // Вестник Удмуртского университета. Биология: науки о земле. 2011. Вып. 1. С. 88-100.

8. ГОСТ ISO 8897-2017. Масло эфирное можжевельное (*Juniperus communis* L.). Технические условия: введ. 2018.07.01. Москва, 2019. 8 с.

9. ГОСТ ISO 280 – 2014. Масла эфирные. Метод определения показателя преломления: введ. 2016.01.01. Москва, 2016. 8 с.

10. ГОСТ ISO 279 – 2014. Масла эфирные. Метод определения относительной плотности при температуре 20°C: введ. 2016.01.01. Москва. 2016. 8 с.

11. Импульсный аппарат для переработки эфиромасличного сырья: пат. 2465308 Рос. Федерация № 2011120642/13; заявл. 20.05.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30.

### Информация об авторах

*И. В. Мацкевич – к.т.н., доцент кафедры технологии, оборудования бродильных и пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».*

*В. Н. Невзоров – д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой технологии, оборудования бродильных и пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».*

*Ж. А. Кох – к.т.н., доцент кафедры технологии, оборудования бродильных и пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, e-mail: jannetta-83@mail.ru, тел.: 8-923-336-2680.*

## REFERENCES

1. Tkachenko K.G. (2019). Flora of Russia - a potential source of promising essential oil-bearing plants. *Scientific and innovative potential of development of production, processing and application of essential and medicinal plants. Materials of the International scientific and practical conference.* (In Russ.).
2. Nevzorova T.V. [et al.] (2011). Reduction of fir oil discharge during its production. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University.* 10 (61). 201-204. (In Russ.).
3. Nevzorov, V. N., Kokh, J.A. & Matskevich I. V. (2021). *Improvement of the process of distillation of essential oil from black currant seeds. Science, education and business: a new look or strategy of integration interaction.* Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. (In Russ.).
4. Nevzorov, V.N. [et al.] (2019). Essential oils of Siberian coniferous plants of Krasnoyarsk region as an object of regional export. *Priority directions of development of regional exports of agro-industrial complex products: Proceedings of the International scientific and practical conference, Krasnoyarsk, November 13-20, 2019.* Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University. (In Russ.).
5. Tkachenko, K. G. & Varfolomeeva, E. A. (2020). Essential oils - repellents and / or insecticides. Prospects of use for the protection of plants. *Innovative development of economy. Proceedings of the Second Crimean Investment Forum.* FGBUN "NIISKh Krym, Scientific and Technical Union of the Crimea. (In Russ.).
6. Tkachenko, K. G., Zenkevich, I.G. & Korobova M.M. (1998). Features processing of plant raw materials to increase the yield of essential oils. *Plant Resources.* 34 (3). 129-137. (In Russ.).
7. Tkachenko, K.G. (2011). Essential oil-bearing plants and essential oils: achievements and prospects, current trends in research and application. *Bulletin of Udmurt University. Biology: Earth Sciences.* (1), 88-100. (In Russ.).

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*

8. . Juniperus essential oil (*Juniperus communis* L.). Technical conditions: introduced. (2019). *HOST ISO 8897-2017 from 1 July 2018.* Moscow. (In Russ.).
9. Essential oils. Method for determining the refractive index: introduced. (2016). *HOST ISO 280 - 2014. from 1 Jan 2016.* Moscow. (In Russ.).
10. Essential oils. Method for determination of relative density at 20°C: introduced. (2016). *HOST ISO 279 - 2014. from 1 Jan 2016.* Moscow. (In Russ.).
11. Pulse apparatus for processing of essential oil raw materials: Pat. 2465308 Ros. Federation, publ. 27.10.2012, Bull. 30. (In Russ.).

## Information about the authors

*I. V. Matskevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Technology, equipment of fermentation and food production of FGBOU VO "Krasnoyarsk State Agrarian University", 660049, Krasnoyarsk, 90 Mira Avenue, e-mail: IMatskevichV@mail.ru, tel.: 8-913-597-4096.*

*V. N. Nevzorov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of technology, equipment of fermentation and food production of FSBEI VO "Krasnoyarsk State Agrarian University", 660049, Krasnoyarsk, 90 Mira Avenue, e-mail: nevzorov1945@mail.ru, tel: 8-960-773-0158.*

*Zh. A. Koch – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology, equipment of fermentation and food production of FSBEI VO "Krasnoyarsk State Agrarian University", 660049, Krasnoyarsk, 90 Mira Avenue, e-mail: jannetta-83@mail.ru, tel.: 8-923-336-2680.*



Научная статья

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.011

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.027



## ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЯЧЕЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ В ПРОЦЕССАХ И АППАРАТАХ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Любовь Юрьевна Александрова<sup>1</sup>, Павел Георгиевич Ганин<sup>2</sup>,  
Алла Валентиновна Маркова<sup>3</sup>, Александр Иванович Мошинский<sup>4</sup>,  
Лариса Николаевна Рубцова<sup>5</sup>, Владислав Валерьевич Сорокин<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup> lubov.aleksandrova@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-4444-1030>

<sup>2</sup> pavel.ganin@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-9890-2082>

<sup>3</sup> alla.markova@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-1317-6238>

<sup>4</sup> alexander.moshinsky@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0001-7135-0823>

<sup>5</sup> larisa.rubtsova@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0003-1687-1890>

<sup>6</sup> vladislav.sorokin@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-7262-0941>

**Аннотация.** При проведении химических, массообменных или тепловых процессов в аппаратах идеального вытеснения концентрации рабочих веществ (или температуры) показатели непрерывно меняются от входа к выходу по длине (высоте) аппарата. В аппаратах идеального смешения происходит полное выравнивание концентраций (или температур) по всему аппарату, причем в любой точке они равны значениям соответствующих величин на выходе потока. Для обоих этих случаев методы расчета скоростей процессов и размеров соответствующих аппаратов хорошо разработаны.

Этой идеализированной физической модели отвечает математическая модель – уравнение или система уравнений, посредством которых расчетом определяется вид функции распределения времени пребывания. Далее сопоставляют реально полученный опытным путем (из кривых отклика) вид функции распределения с результатом расчета на основании выбранной идеальной модели при различных значениях ее параметра (или параметров). В результате сравнения устанавливают, соответствует ли с достаточной степенью точности выбранная модель реальной гидродинамической структуре потока в аппарате данного типа, т.е. адекватна ли модель объекту. Затем находят те численные значения параметров модели, при которых совпадение опытной и расчетной функций распределения наилучшее. Указанные значения в дальнейшем применяют при расчете процесса в конкретном аппарате. Обобщая эти данные, получают уравнения для расчета значений параметров модели при разных гидродинамических условиях работы и размеров аппаратов данного типа.

В настоящее время для описания структуры потоков наиболее часто используют две модели: ячеечную и диффузионную.

**Ключевые слова:** ячейка, перемешивание, модели, метод возмущений, структура потоков, массообмен, реактор, производящая функция, дисперсия вещества, промывка осадка.

---

**Для цитирования:** Исследование уравнений ячеечной структуры потоков в процессах и аппаратах химической технологии / Л. Ю.Александрова [и др.] // Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 194 – 203. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.027. EDN: <https://elibrary.ru/vghnok>.

---

Original article

## INVESTIGATION OF THE EQUATIONS OF THE CELL STRUCTURE OF FLOWS IN PROCESSES AND APPARATUS OF CHEMICAL ENGINEERING

Lyubov Yu. Alexandrova <sup>1</sup>, Pavel G. Ganin <sup>2</sup>, Alla V. Markova <sup>3</sup>,  
Alexander I. Moshinsky <sup>4</sup>, Larisa N. Rubtsova <sup>5</sup>, Vladislav V. Sorokin <sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Saint Petersburg State University of Chemistry and Pharmacy, Saint Petersburg, Russia

<sup>1</sup> lubov.aleksandrova@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-4444-1030>

<sup>2</sup> pavel.ganin@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-9890-2082>

<sup>3</sup> alla.markova@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-1317-6238>

<sup>4</sup> alexander.moshinsky@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0001-7135-0823>

<sup>5</sup> larisa.rubtsova@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0003-1687-1890>

<sup>6</sup> vladislav.sorokin@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0002-7262-0941>

**Abstract.** During chemical, mass transfer or thermal processes in ideal displacement apparatuses, the concentrations of working substances (or temperatures) continuously change from inlet to outlet along the length (height) of the apparatus. In ideal mixing apparatuses, concentrations (or temperatures) are completely equalized throughout the apparatus, and at any point they are equal to the values of the corresponding values at the flow outlet. For both of these cases, the methods for calculating the speeds of processes and the sizes of the corresponding devices are well developed.

This idealized physical model corresponds to a mathematical model – an equation or a system of equations by means of which the type of the residence time distribution function is determined by calculation. Next, the type of the distribution function actually obtained experimentally (from the response criteria) is compared with the calculation result based on the selected ID model for different values of its parameter (or parameters). As a result of the comparison, it is established whether the selected model corresponds with a sufficient degree of accuracy to the real hydrodynamic structure of the flow in the apparatus of this type, i.e. whether the model is adequate to the object. Then the numerical values of the model parameters are found, at which the coincidence of the experimental and calculated distribution functions is the best. The specified values are subsequently applied when calculating the process in a particular device. Generalizing these data, equations are obtained for calculating the values of model parameters under different hydrodynamic operating conditions and sizes of devices of this type.

Currently, two models are most often used to describe the flow structure: cellular and diffusion.

**Keywords:** cell, mixing, models, perturbation method, flow structure, mass transfer, reactor, generating function, dispersion of matter, sludge washing.

---

**For citation:** L. Yu., Alexandrova, P. G., Ganin, A. V., Markova, A. I., Moshinsky, L. N., Rubtsova & V. V., Sorokin. (2022). Investigation of the equations of the cell structure of flows in processes and apparatus of chemical engineering. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 194-203. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.027.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Процессы химической технологии – это сложные физико-химические явления. Участвующие в них потоки вещества, как правило, многофазные и многокомпонентные. В ходе протекания процесса в каждой точке фазы и на границах раздела происходит перенос импульса, энергии, массы. Как же изучать химико-технологические процессы? Ключ к решению этой проблемы дает метод математического моделирования, базирующийся на *POLZUNOVSKIY VESTNIK № 3 2022*

стратегии системного анализа. Под математическим моделированием понимают изучение свойств объекта на математической модели. Его целью является определение оптимальных условий протекания процесса, управление им на основе математической модели и перенос результатов на объект. Существует много моделей. Мы остановимся на ячеечной, т. к. типовые модели идеального перемешивания, идеального вытеснения часто неадекватны реальному процессу, а диффузионная

модель отличается сложностью. По этой причине для трубчатых и колонных аппаратов, а также для каскадов последовательно расположенных реакторов удобнее представлять реальные потоки в виде ячеечной модели.

Намного сложнее описать и учесть реальное поле концентраций или температур при расчете аппаратов со структурой потоков промежуточного типа [1– 5].

Для описания действительной картины изменения концентраций (или температур) в этих аппаратах необходимо иметь какую-то количественную меру степени перемешивания, т.е. степени отклонения реальной гидродинамической структуры потока от структуры, отвечающей идеальному вытеснению или идеальному смешению. Чтобы найти такую меру, выраженную численными значениями какого-либо одного или нескольких параметров, обычно прибегают к описанию структуры потока при помощи той или иной упрощенной модели, или физической схемы, более или менее точно отражающей действительную физическую картину движения потока [3– 6].

Классическая теория дисперсии вещества Тейлора с постоянным значением коэффициента эффективной диффузии часто не может описать тепломассообменных ситуаций в аппаратуре, тогда целесообразно перейти к моделированию процесса уравнениями ячеечных моделей. Это связано с тем, что работа Тейлора и многие другие работы по теории дисперсии оперируют с одномерными профилями течения жидкости, одинаковыми для любого сечения канала. Фактически теория Тейлора рассматривает технологический аппарат аналогичным (по течению жидкости в нем) некоторой трубе. Данное обстоятельство приводит к независимости от продольной координаты коэффициента дисперсии  $D$ . Совершенно другая ситуация возникает, когда течение в трубе не одномерное. В реальных аппаратах химической технологии обычно так и бывает. В них присутствуют (или могут присутствовать) перегородки, отверстия в них, мешалки различных типов и другие факторы, делающие гидродинамическое течение в аппарате достаточно сложным. В случае не одномерного течения в аппарате если и возможно применить теорию Тейлора, то, как правило, коэффициент дисперсии будет зависеть от продольной координаты [7, 8].

Цели работы: 1. Продемонстрировать применение метода производящих функций для решения уравнений ячеечных моделей. 2. Продемонстрировать применение метода малых возмущений. 3. Рассмотреть принципы работы различных аппаратов, используемых в

производстве лекарственных препаратов, на основании ячеечной модели структуры потоков. 4. Указать на неточности описания результатов анализа ячеечных моделей, рекомендованных в учебниках.

#### *1. Ячеечная модель структуры потоков в аппаратах.*

В химической технологии и смежных отраслях промышленности имеют широкое распространение аппараты, представляющие собой несколько последовательно соединенных одинаковых элементов, в каждом из которых вещество потока интенсивно перемешивается. Это может быть каскад (последовательность) аппаратов с механической мешалкой в каждом из них, или секционированный аппарат с псевдооживленными слоями дисперсного материала в каждой из последовательных секций, или тарельчатый массообменный аппарат с перемешиванием фаз вследствие энергичного барботажа пузырьков газа или пара через слой жидкости на каждой тарелке. Поведение потоков в аппаратах такого рода можно представить с помощью ячеечной модели полного перемешивания. Данная модель используется на практике, чтобы в любой момент времени проследить изменение концентраций (температур). Модель реализуется, когда процесс тепломассопереноса влияет только на процессы, (в простейшем варианте) происходящие в последующей ячейке, но не в предыдущей. Следовательно, главным и, в простейшем случае, единственным параметром ячеечной структуры потоков является число таких ячеек  $n$ , на которые можно мысленно разбить аппарат, чтобы получить реально достигаемую в нем степень перемешивания потока. В более сложных вариантах (обратные потоки, застойные зоны и т.п.) появляются дополнительные параметры. Аналитические исследования подобных задач достаточно сложны. Некоторые результаты данных структур приведены в работах [3, 5, 9– 11].

#### *2. Использование модели ячеечной структуры потоков в химико-технологических процессах (в производстве лекарственных препаратов).*

Определенная часть химико-технологических процессов протекает в проточных аппаратах полного смешения, соединенных последовательно в каскад. Исходные компоненты реакции поступают в первый реактор каскада, а целевой продукт отбирается на выходе из последнего реактора. В этом случае поток, выходящий из предыдущего реактора (за исключением последнего реактора в каскаде), подается на выход следующего реактора. При моделировании технологического

## ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЯЧЕЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ В ПРОЦЕССАХ И АППАРАТАХ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

процесса каскад последовательно соединенных реакторов может быть представлен ячеечной моделью структуры потоков. Рассмотрим применение этой модели в производстве лекарственных препаратов. Именно это можно проследить в производстве лекарств, где есть следующие стадии: кристаллизации, экстрагирования, окисления, ацетонирования [12].

При производстве некоторых биотехнологических препаратов также используется ячеечная модель структуры потоков [13]. При гетерогенном непрерывном процессе несколько ферментаторов соединены вместе (они представляют собой каскад аппаратов с мешалками). Питательная среда поступает в первый аппарат, готовая культуральная жидкость вытекает из последнего. В этом случае имеет место непрерывный поток питательной среды, но клетки не обеспечены постоянными условиями роста (каждый аппарат представляет собой особые условия культивирования).

При непрерывном культивировании микроорганизмов нужно отрегулировать скорости притока питательной среды и вытекания культуральной жидкости, чтобы предотвратить вымывание культуры из системы, т.е. обеспечить постоянную концентрацию клеток [14]. В стерильных условиях непрерывный проточный метод обеспечивает сохранение культуры в физиологически активном состоянии в течение длительного времени. Однако этот процесс можно использовать в том случае, если культура при длительном выращивании не теряет способности к синтезу, ну и так же важную роль играет подбор оптимальных условий.

Так же в условиях фармацевтической промышленности при приготовлении лекарственных препаратов часто используют аппараты с псевдооживленным слоем, многокорпусные выпарные аппараты, которые зачастую можно смоделировать с помощью ячеечной структуры потоков.

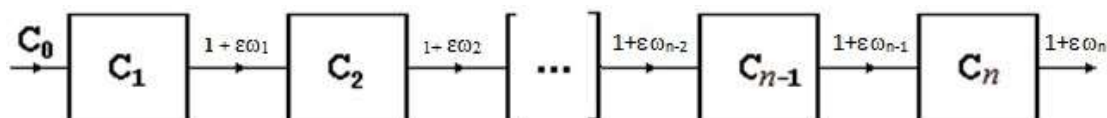


Рисунок 1 - Схема ячеечной модели

Figure 1 - Diagram of the cellular model

### 3. Метод малых возмущений.

Рассмотрим модель, состоящую из \$n\$ ячеек, к примеру, возьмем каскад аппаратов с механическими мешалками. Между аппаратами нет циркуляционного перемешивания, но в каждом отдельном аппарате достигается полное перемешивание. Модель используется для расчета теплообменных и массообменных процессов. Заметим, что ячейки могут возникать и без секционирования объема аппарата [15].

Представим эти ячейки в качестве последовательности, в каждой ячейке вещество имеет определенную концентрацию и определенный объем.

Предположим, что в ячейках происходит идеальное перемешивание. Тогда в некоторой ячейке \$j\$ мы можем представить материальный баланс следующим образом:

$$V_j \frac{dC_j}{dt} = Q(C_{j-1} - C_j), \quad (1)$$

\$j = 1, 2, \dots, n\$,

где \$V\_j\$ – объем \$j\$-той ячейки, \$C\_j\$ – концентрация вещества в ячейке, \$Q\$ – объемный расход вещества, \$n\$ – число ячеек. \$V\_j dC\_j/dt\$ – изменение

массы целевого вещества в \$j\$-той ячейке, \$QC\_{j-1}\$ – приток вещества в \$j\$-тую ячейку, \$QC\_j\$ – отток вещества из \$j\$-той ячейки.

Предположим, что \$\tau\_j = V\_j/Q\$ (\$\tau\_j\$ – параметр, представляющий безразмерное время), причем все \$V\_j\$ достаточно близки, \$t\$ – характерная величина для \$\tau\_j\$. При этом уравнения (1) принимают вид:

$$\frac{dC_j}{dt} = \frac{t_*}{\tau_j} (C_{j-1} - C_j) = (1 + \epsilon\omega_j)(C_{j-1} - C_j), \quad (2)$$

где \$\epsilon\$ – малый параметр, чей модуль будет заметно меньше единицы, \$\omega\_j = (t - \tau\_j)/(\epsilon\tau\_j)\$ – величина порядка единицы по \$\epsilon\$. При \$\epsilon = 0\$, \$\tau\_j = t = \text{const}(j)\$, следовательно \$V\_j = \text{const}(j)\$. В общем случае \$C\_0 = C\_0(t)\$ – заданная функция времени. Уравнение (2) дополняют начальные условия:

$$C_j(0) = w_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Функция \$C\_0\$ выражает приток вещества в первую ячейку из вне. Рассмотрим частную задачу. \$C\_0 = 0\$, \$C\_1 = 1 = w\_1\$, \$w\_j = 0\$ (\$j \ge 1\$).

Фактически выбор  $w_1 = 1$  соответствует переходу к безразмерной концентрации. Введем также безразмерное время по формуле  $\tau = Qt/V$ , при  $V_j = V = \text{const}$ .

Решение системы (2) при  $\varepsilon = 0$ .

Примем условия: поступающая на вход системы концентрация  $C_0 = 0$ , концентрация в первой ячейке  $C_1(0) = 1$ , концентрации же в последующих ячейках также примем равными нулю в начальный момент времени, то есть мы рассматриваем процесс, введения вещества (трассера) только в одной (первой) ячейке. Количество ячеек может быть любым ( $2 < j \leq n$ ). Существует несколько подходов к анализу процессов тепломассопереноса в ячеечных структурах. Отметим оригинальный метод исследования [16].

Введем производящую функцию для концентрации  $C_j$ , согласно зависимости [6]:

$$\Phi(\tau, \lambda) = \sum_{j=1}^{\infty} \lambda^j C_j(\tau). \quad (4)$$

Производящая функция часто выступает как особый способ решения ряда задач теории вероятности [17, 18]. Она также встречается в теории специальных функций. В производящей функции мы ввели  $\lambda$  – это параметр, через который величины  $C_j(\tau)$  можно выразить через ряд Маклорена.

$$C_j(\tau) = \frac{1}{j!} \left. \frac{d^j \Phi}{d\lambda^j} \right|_{\lambda=0}. \quad (5)$$

Применим операцию введения производящей функции к уравнениям (2), то есть умножаем соответствующее уравнение на  $\lambda^j$  и суммируем по  $j$  от единицы до бесконечности, в итоге получаем следующее выражение:

$$\frac{d\Phi}{d\tau} = \sum_{j=1}^{\infty} \lambda^j c_{j-1} - \sum_{j=1}^{\infty} \lambda^j c_j = \sum_{j=2}^{\infty} \lambda^j c_{j-1} - \Phi = (\lambda - 1)\Phi$$

Начальные условия для полученного выражения будут следующими:

Безразмерное время  $\tau = 0$ . При этом

$$\Phi(0, \lambda) = \sum_{j=1}^{\infty} \lambda^j C_j(0) = \lambda.$$

Тогда решение уравнения для функции  $\Phi$  с подстановкой начальных условий примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Phi(\tau, \lambda) &= \lambda \exp[(\lambda - 1)\tau] = \\ &= \exp(-\tau) \lambda \exp(\lambda\tau). \end{aligned}$$

Используя ряд Маклорена, или разлагая экспоненту в ряд по степеням  $\lambda$  [19], мы получим следующее выражение:

$$\Phi(\tau, \lambda) = \exp(-\tau) \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\lambda^{j+1}}{j!} \tau^j.$$

Принимая во внимание это выражение и (4), (5), находим концентрации в любой момент времени по следующей формуле

$$C_j(\tau) = \exp(-\tau) \frac{\tau^{j-1}}{(j-1)!},$$

где  $j = 1, 2, \dots, n$ . Отметим, что  $0! = 1$  по определению.

Рассмотрим теперь случай  $\varepsilon \neq 0$ .

Принимаем те же дополнительные условия что и в варианте  $\varepsilon = 0$ .

$$C_0 = 0, C_1(0) = 1, C_j(0) = 0 \quad j \geq 2.$$

В данном случае поставленная задача также имеет решение. Его можно получить последовательно от ячейки к ячейке при помощи рекуррентной формулы, однако эти решения получаются слишком громоздкими (трудно обозримыми) и поэтому не совсем рациональными, к тому же в практических задачах значения  $\tau_j$  очень близки друг к другу. Поэтому целесообразным является использование метода малого параметра [20–23]. Согласно этому методу, решение задачи раскладывается в виде формулы (разложение в ряд Маклорена):

$$\begin{aligned} C_j(\tau) &= C_j^0(\tau) + \varepsilon C_j^1(\tau) + \\ &+ \varepsilon^2 C_j^2(\tau) + \dots \end{aligned}$$

Далее это выражение подставляем в уравнение и заданные начальные условия, затем проводим группировку слагаемых одинакового порядка по  $\varepsilon$  и приравниваем полученное выражение к нулю. В главном (нулевом) приближении по  $\varepsilon$  имеем уже ранее рассмотренную задачу:

$$\frac{dC_j^0}{d\tau} = C_{j-1}^0 - C_j^0, \quad C_0 = 0,$$

$$C_j^0 = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ 0, & j > 1 \end{cases}.$$

Решение которой представляет найденная выше формула:

$$C_1^1(\tau) = C_1^0(\tau) + \varepsilon C_1^1(\tau) = e^{-\tau} - \varepsilon w_1 e^{-\tau} + O(\varepsilon^2) \quad (6)$$

$$C_j^0(\tau) = \exp(-\tau) \frac{\tau^{j-1}}{(j-1)!}$$

Задача для функций  $C_j^1(\tau)$  согласно всему вышесказанному, будет формулироваться следующим образом:

$$\frac{dC_j^1}{d\tau} = (C_{j-1}^1 - C_j^1) + w_j (C_{j-1}^0 - C_j^0) =$$

$$= (C_{j-1}^1 - C_j^1) + w_j \frac{dC_j^1}{d\tau}$$

$$C_0^1 = 0, C_j^0 = 0$$

$j = 1, 2, 3, \dots, n$

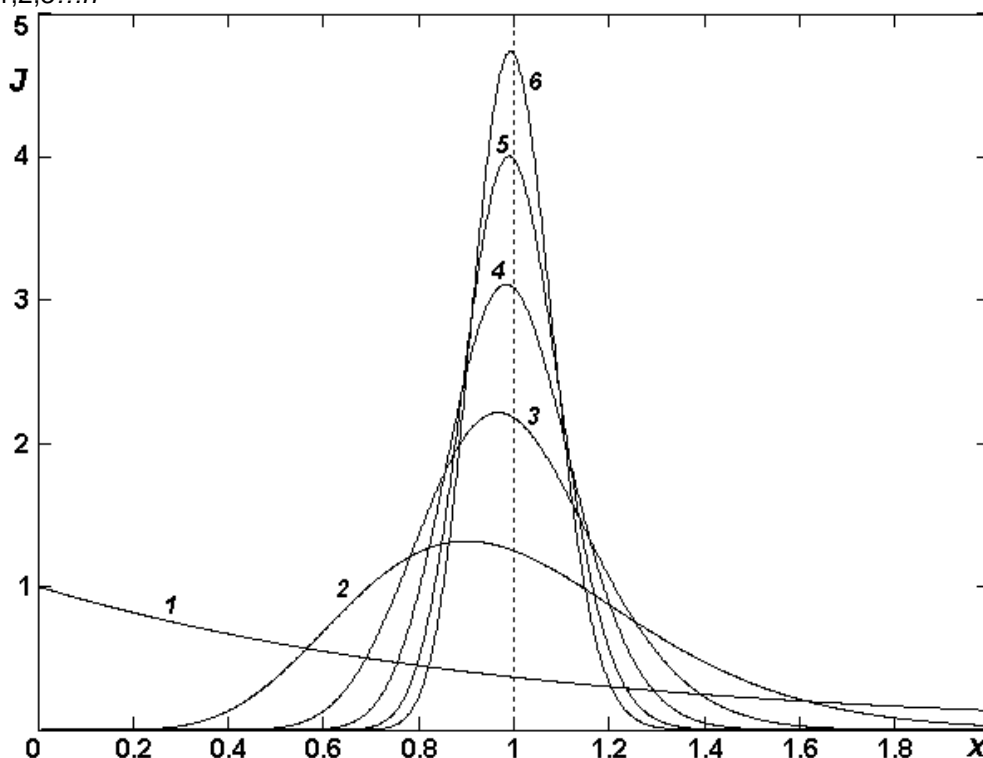


Рисунок 2 - Графики функций (\*): 1 -  $n = 1$ ; 2 -  $n = 10$ ; 3 -  $n = 30$ ; 4 -  $n = 60$ ; 5 -  $n = 100$ ; 6 -  $n = 140$

Figure 2 - Graphs of functions (\*): 1 -  $n = 1$ ; 2 -  $n = 10$ ; 3 -  $n = 30$ ; 4 -  $n = 60$ ; 5 -  $n = 100$ ; 6 -  $n = 140$

Преобразование двучленного разложения полученного решения.

Для первой ячейки имеем следующее разложение:

Для функции  $C_j^1(\tau)$  имеем следующие уравнения:

$$\frac{dC_j^1}{d\tau} = -C_j^1 - w_1 C_1^0 \Rightarrow \left[ e^\tau C_1^1 \right]' = -w_1$$

После интегрирования

$$C_1^1(\tau) = -w_1 \tau e^{-\tau}$$

Аналогично при  $j = 2$  находим:

$$C_2^1(\tau) = e^{-\tau} \left\{ w_2 \tau - \left[ \frac{w_1 + w_2}{2} \right] \tau^2 \right\}$$

Для любого  $j$  решение задачи можно записать следующим образом:

$$C_j^1 = (C_j^0 - C_{j+1}^0) \sum_{k=1}^j (w_k - w_1 C_j^0)$$

В данной работе мы ограничиваемся двумя первыми приближениями.

Второе слагаемое по отношению к первому выполняет роль поправки, то есть оно намного меньше первого. Разделив поправку на главное слагаемое, мы получаем, что должно быть:



$$\left| \frac{\varepsilon w_1 \tau e^{-\tau}}{e^{-\tau}} \right| = \varepsilon \tau |w_1| \ll 1,$$

Полученное неравенство нарушается только при достаточно больших значениях времени. Такое (поправочное) слагаемое называют секулярным. Разработаны методы улучшения разложений, содержащих такие слагаемые, к примеру, метод перенормировки [19, 20]. Тогда разложение имеет следующий вид:

$$C_1^1(\tau) = e^{-\tau(1+\varepsilon w_1)} + O(\varepsilon^2)$$

В действительности с точностью до слагаемых второго порядка имеем следующую картину:

$$\begin{aligned} e^{-\tau(1+\varepsilon w_1)} &= e^{-\tau} e^{-\tau \varepsilon w_1} = \\ &= e^{-\tau} \left[ 1 - \tau \varepsilon w_1 \right] + O(\varepsilon^2) \end{aligned}$$

Что совпадает с формулой (5). Формула пригодна и при  $\tau = O(1/\varepsilon)$ , но она становится не точной при дальнейшем возрастании времени. Однако в данной задаче, экспоненциальное слагаемое фактически является точным решением уравнения, поскольку секулярное слагаемое начинает проявлять себя, когда концентрация целевого вещества в первой ячейке становится практически нулевой.

#### 4. Графическое изображение решения уравнений моделей ячейечной структуры потоков.

С помощью программы Mathcad попытаемся построить решение уравнений ячейечной структуры потоков, сравним это решение с графическими решениями, представленными в уже имеющихся учебниках по ПАХТу. Расчеты программы в среде Mathcad дают следующую картинку решения (рис. 2)

Мы ясно видим, что при увеличении числа ячеек, максимум функции сдвигается вправо, т.е. при бесконечном росте числа ячеек кривая стремится принять вид прямой ( $\delta$ -функции) и при этом находится правее всех остальных максимумов, все это можно подтвердить расчетами. В ходе работы над статьей были замечены некоторые неточности в графических решениях этого уравнения в учебниках Гельперина и Фролова [2, 24]. Они неточно показывают смещение максимумов функции вправо. Можно предположить, что эти неточности возникли в ходе печати учебников.

На рисунке 2 представлена функция  $C_j$  с перенормированными переменными по осям координат (замена  $\tau = nx$  в уравнении (4)):

$$J_n(x) = \exp(-nx) \frac{n^n x^{n-1}}{(n-1)!}. \quad (7)$$

Нормировка сделана таким образом, что площадь под любой кривой на интервале  $(0, \infty)$  на рисунке 2 равна единице. Выражение (7) записано для последней  $n$ -ой ячейки. Оно, для нормировки, учитывает дополнительный множитель  $n$ , «связанный» с дифференциалом времени когда мы обращаемся к расчету площади под кривой через соответствующий интеграл.

Видим как по мере роста числа  $n$  кривая сжимается по оси абсцисс. В пределе  $n \rightarrow \infty$  функция  $J_n(x)$  стремится к  $\delta$ -функции.

Рассмотрим еще одну задачу для ячейечной модели, хорошо подходящую для моделирования процесса промывки осадков. Представленные ниже решения (графики характерных функций) имеют качественные совпадения с экспериментальными кривыми промывки осадков. Подобрал число ячеек  $n$  можно добиться и количественного соответствия.

В данном случае мы будем решать задачу другим методом, а именно, найдем рекуррентную формулу для функциональной связи концентраций вещества в соседних ячейках.

Система уравнений ячейечной модели по-прежнему имеет вид (1): они дополняются начальными условиями для задачи промывки осадков (аппаратов и т.п.):

$$C_j(0) = 1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (8)$$

Для промывки осадков жидкостью, не содержащей примеси должно быть  $C_0 \equiv 0$ .

При  $j = 1$  решение задачи (1), (8) такое  $C_1(\tau) = \exp(-\tau)$ .

Удобно систему (1) представить следующим образом:

$$\frac{d}{d\tau} [\exp(\tau) C_j] = \exp(\tau) C_{j-1}, \quad C_j(0) = 1; \quad \Rightarrow$$

$$\exp(\tau) C_j = 1 + \int_0^\tau \exp(\xi) C_{j-1}(\xi) d\xi, \quad (9)$$

т.е. функции  $C_j$  могут последовательно ( $j = 2, 3, \dots, n$ ) определяться из рекуррентного соотношения (9). Например, при  $j = 2$  и  $j = 3$  получаем:

$$\exp(\tau) C_2(\tau) = 1 + \int_0^\tau 1 d\xi = 1 + \tau,$$

$$\exp(\tau) C_3(\tau) = 1 + \int_0^\tau (1 + \tau) d\xi = 1 + \tau + \frac{\tau^2}{2}. \quad (10)$$

ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЯЧЕЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ В ПРОЦЕССАХ И АППАРАТАХ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Отсюда можно предположить, что при любом  $j$  будем иметь:

$$\exp(\tau)C_j = 1 + \tau + \frac{\tau^2}{2} + \dots + \frac{\tau^{j-1}}{(j-1)!} + \frac{\tau^j}{j!} = \sum_{k=0}^j \frac{\tau^k}{k!} \quad (11)$$

Эту гипотезу можно обосновать при помощи рекуррентной формулы (9)

$$\begin{aligned} \exp(\tau)C_j &= 1 + \int_0^\tau \sum_{k=0}^{j-1} \frac{\xi^k}{k!} d\xi = \\ &= 1 + \sum_{k=0}^{j-1} \frac{\tau^{k+1}}{(k+1)!} = \sum_{k=0}^j \frac{\tau^k}{k!} \end{aligned} \quad (12)$$

т.е. формула (9) подтверждает гипотезу (11) согласно методу математической индукции.

Общее количество примесей в пористом теле определяется выражением

$$\begin{aligned} M &= \sum_{j=1}^n C_j(\tau)\rho V = \\ &= \rho V \exp(-\tau) \left\{ n + (n-1)\tau + (n-2)\frac{\tau^2}{2} + \dots \right. \end{aligned} \quad (13)$$

$$\left. \frac{(n-j)\tau^j}{j!} + \frac{\tau^{n-1}}{(n-1)!} \right\} = \\ = \rho W \exp(-\tau) \sum_{j=1}^{n-1} \left( 1 - \frac{j}{n} \right) \frac{\tau^j}{j!}$$

где  $W$  - полный объем ячеек,  $\rho$  - плотность примеси. Результаты расчетов по формулам (10-13) представлены на рисунке 3.

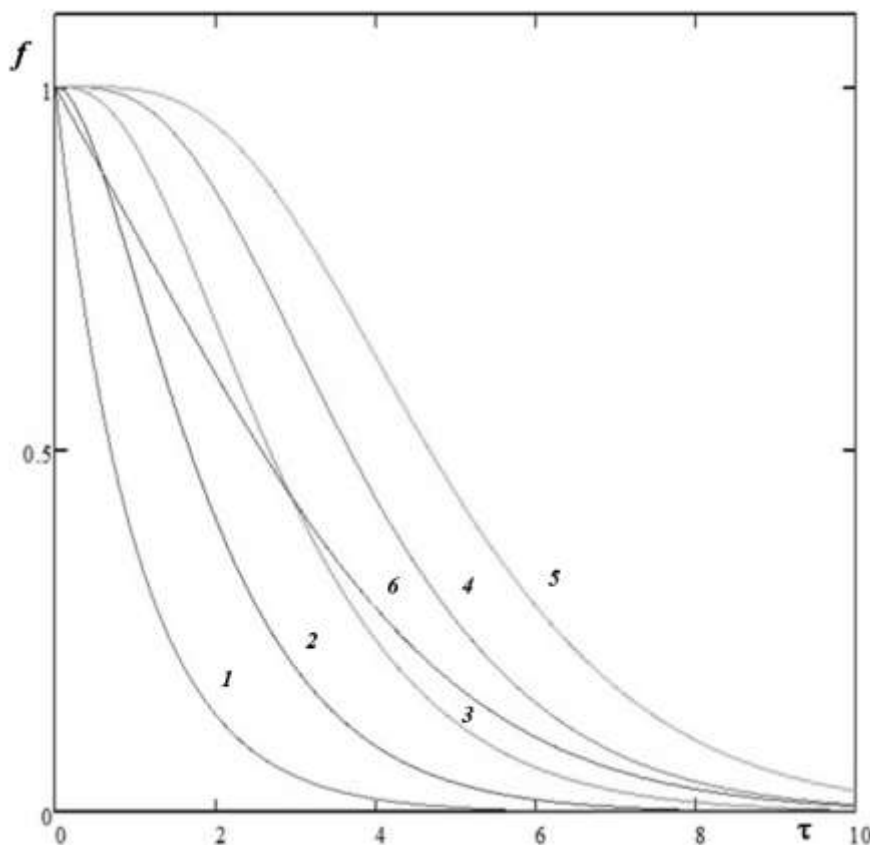


Рисунок 3 - Кривые промывки осадка. 1 -  $f = C_1$ , 2 -  $f = C_2$ ; 3 -  $f = C_3$ ; 4 -  $f = C_4$ ; 5 -  $f = C_5$ ; Полная масса примеси 6 -  $f = M$

Figure 3 - Sludge washing curves. 1 -  $f = C_1$ , 2 -  $f = C_2$ ; 3 -  $f = C_3$ ; 4 -  $f = C_4$ ; 5 -  $f = C_5$ ; the total mass of the impurity 6 -  $f = M$

Несколько слов об использовании различных моделей для описания структуры потоков в аппаратах химической технологии.

Существует несколько моделей описания

структуры потоков в аппарате: ячеечная, диффузионная, комбинированная, гидродинамическая и многие другие. Каждая из них весьма интересна для понимания процессов, проис-

ходящих внутри аппарата, для изучения изменения концентраций, температур, скоростей потока и многих других параметров. Все эти модели рисуют нам ясную картину самого процесса, они могут представить нам какой-то параметр очень глубоко, какой-то наиболее поверхностно, но в сумме они дополняют друг друга. Из всех упомянутых выше моделей наиболее простой для расчетов, наиболее распространенной и наиболее удобной является ячеечная модель структуры потоков. Для решения уравнений этой модели тоже используется несколько математических подходов. В частности, мы рассмотрели в данной работе метод малых возмущений, который также является довольно простым и распространенным.

В настоящее время мы отмечаем то, как важно уметь моделировать процессы, происходящие в химическом аппарате. С помощью ячеечной модели структуры потоков мы можем говорить не только о каскаде каких-то аппаратов, но и об одном аппарате в целом. При этом мы создаем какую-то конкретную модель, к примеру, изучаем закономерность изменения концентрации вещества по времени. Зная, определенные параметры системы, становится возможным четко проследить изменение этой концентрации, и в определенный момент остановить процесс. В фармацевтической промышленности это весьма важно, поскольку мы знаем, как чрезмерное влияние каких – либо параметров может изменить качество конечного продукта, качество самой субстанции или вспомогательных веществ. Все вышесказанное так или иначе ведет к негативному действию на организм человека. Ну и еще один немаловажный момент, при точном регулировании процесса можно говорить об экономической целесообразности модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии, Москва, Альянс, 2004. 751 с.
2. Фролов В.Ф. Лекции по курсу процессы и аппараты химической технологии, Санкт-Петербург, химиздат, 2003. 608с.
3. Гельперин Н.И., Пибалк В.Л., Костанян А.Е. Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности, Москва, издательство «Химия», 1977. 364 с.
4. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии. М.: Наука, 1976. 500 с.
5. Броунштейн Б.И., Щеголев В.В. Гидродинамика, массо- и теплообмен в колонных аппаратах. Л.: Химия, 1988. 336 с.
6. Мошинский А.И. Моделирование тепломассообменных процессов на основе обобщенных диффузионных уравнений. М.: Изд-во КНОРУС, 2019. 444 с.
7. Мошинский А.И. Диффузионная модель при наличии циркуляционных зон в аппаратах // Теор. основы хим. технол. 1988. Т. 22, № 3. С. 315 - 324.

8. Мошинский А.И. Некоторые вопросы теории ячеечных моделей // Теор. основы хим. технол. 1990. Т. 24, № 6. С. 743– 754.
9. Roemer M.H., Durbin L.D. Transient response and moments analysis of backflow cell model for flow system with longitudinal mixing // Ind. Engng. Chem. Fund. 1967. V. 6, N 1. P. 120– 129.
10. Buffham B.A., Gibilaro L.G. The analytical solution of the Deans - Levich model for dispersion in porous media // Chem. Engng. Sci. 1968. V. 23, N 11. P. 1399– 1401.
11. Мошинский А.И. Анализ ячеечной модели с обратным перемешиванием между ячейками и при наличии застойных зон // Теор. основы хим. технол. 1987. Т. 21, № 6. С. 732– 740.
12. Чуешов В.И. «Промышленная технология лекарств», МТК-Книга; издательство НФАУ, 2002.
13. Кафаров В.В., Винаров А.Ю., Гордеев Л.С. Моделирование биохимических реакторов. Москва: Лесная промышленность, 1979. 344 с.
14. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Что такое математическая биофизика. (Кинетические модели в биофизике). М.: Просвещение, 1971. 136 с.
15. Пирсон Дж. Широкие горизонты гидромеханики // Современная гидродинамика. Успехи и проблемы. М.: Мир, 1984. С. 315– 336.
16. Бабенко Ю.И., Мошинский А.И. Операторные методы расчета ячеечных моделей химических аппаратов // Хим. промышленность. 1999. № 2. С. 102– 104.
17. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 1. М.: Мир, 1967. 500 с.
18. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. М.: Мир, 1986. 528 с.
19. Зорич В.А. Математический анализ, часть I, М: Наука, 1981. 544 с.
20. Коул Дж. Методы возмущений в прикладной математике. М.: Мир, 1972. 276 с.
21. Найфэ А. Введение в методы возмущений. М.: Мир, 1984. 535 с.
22. Найфэ А. Методы возмущений. М.: Мир, 1976. 456 с.
23. Ван-Дайк М. Методы возмущений в механике жидкости. М.: Мир, 1967. 312 с.
24. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Кн. 1. М.: Химия, 1981. 384 с.

#### Информация об авторах

*Л. Ю. Александрова – преподаватель кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.*

*П. Г. Ганин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.*

*А. В. Маркова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.*

*А. И. Мошинский – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.*

*Л. Н. Рубцова – кандидат фармацевтиче-*

## ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЯЧЕЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ В ПРОЦЕССАХ И АППАРАТАХ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ских 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.

### REFERENCES

1. Kasatkin, A.G. (2004). *Basic processes and devices of chemical technology*. Moscow: Alliance. (In Russ.).
2. Frolov, V.F. (2003). *Lectures on the course of processes and apparatuses of chemical technology*. St. Petersburg: himizdat. (In Russ.).
3. Gelperin, N.I., Pebalk, V.L. & Kostyan, A.E. (1977). *Flow structure and efficiency of column apparatuses of chemical industry*. Moscow: publishing house "Chemistry". (In Russ.).
4. Kafarov, V.V. & Dorokhov, I.N. (1976). System analysis of chemical technology processes. Fundamentals of strategy. Moscow: Nauka. (In Russ.).
5. Brownstein, B.I. & Shchegolev, V.V. (1988). *Hydrodynamics, mass and heat transfer in column apparatuses*. L.: Chemistry. (In Russ.).
6. Moshinsky, A.I. (2019). *Modeling of heat and mass transfer processes based on generalized diffusion equations*. Moscow: KNORUS Publishing House. (In Russ.).
7. Moshinsky, A.I. (1988). Diffusion model in the presence of circulation zones in the apparatuses. *Theor. fundamentals of chemical technology*. 22(3). 315 – 324. (In Russ.).
8. Moshinsky A.I. (1990). Some questions of the theory of cellular models. *Theor. Fundamentals of chemical technology*. 24(6). 743 – 754. (In Russ.).
9. Roemer, M.H. & Durbin L.D. (1967). Transient response and moments analysis of backflow cell model for flow system with longitudinal mixing. *Ind. Engng. Chem. Fund.* 6(1). 120 – 129. (In Russ.).
10. Buffham, B.A. & Gibilaro, L.G. (1968). The analytical solution of the Deans - Leovich model for dispersion in porous media. *Chem. Engng. Sci.* 23(11). 1399 – 1401. (In Russ.).
11. Moshinsky, A.I. (1987). Analysis of a cellular model with reverse mixing between cells and in the presence of stagnant zones. *Theor. fundamentals of chemical technology*. 21(6), 732–740. (In Russ.).
12. Chueshov, V.I. (2002). *Industrial technology of medicines*. MTK-Book; publishing house NFAU. (In Russ.).
13. Kafarov, V.V., Vinarov, A.Yu. & Gordeev, L.S. (1979). Modeling of biochemical reactors. Moscow: Forest Industry. (In Russ.).
14. Romanovsky, Yu.M., Stepanova, N.V. & Chemavsky, D.S. (1971). What is mathematical biophysics. (Kinetic models in biophysics). Moscow: Prosveshchenie. (In Russ.).

15. Pearson, J. (1984). Broad horizons of hydromechanics. Modern hydrodynamics. Successes and problems. M.: Mir, 315–336. (In Russ.).

16. Babenko, Yu.I., Moshinsky, A.I. (1999). Operational methods for calculating cellular models of chemical apparatuses. *Chemical industry*. (2), 102 – 104. (In Russ.).

17. Feller, V. (1967). *Introduction to the theory of probabilities and its applications*. Moscow: Mir. (In Russ.).

18. Gardiner, K.V. (1986). *Stochastic methods in natural sciences*. Moscow: Mir. (In Russ.).

19. Zorich, V.A. (1981). *Mathematical analysis, part I*. Moscow: Nauka. (In Russ.).

20. Cole, J. (1972). *Methods of perturbations in applied mathematics*. Moscow: Mir. (In Russ.).

21. Naife, A. (1984). *Introduction to perturbation methods*. Moscow: Mir. (In Russ.).

22. Naife, A. (1976). *Methods of perturbations*. M.: Mir. (In Russ.).

23. Van Dyke, M. (1967). *Methods of perturbations in fluid mechanics*. Moscow: Mir. (In Russ.).

24. Gelperin N.I. (1981). *Basic processes and devices of chemical technology*. M.: Chemistry. (In Russ.).

### Information about the authors

**L. Y. Alexandrova** – lecturer of the Department of "Processes and Devices of Chemical Technology" of the St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.

**P. G. Ganin** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Processes and Devices of Chemical Technology" of St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.

**A. V. Markova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Processes and Devices of Chemical Technology" of St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.

**A. I. Moshinsky** – Candidate of Technical Sciences Associate Professor of the Department of "Processes and Devices of Chemical Technology" of the St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.

**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.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*



Обзорная статья

2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 53.097:54-116

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.028



## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ. ЧАСТЬ 2

Дмитрий Валерьевич Комаров <sup>1</sup>, Сергей Валерьевич Коновалов <sup>2, 5</sup>,  
Дмитрий Владимирович Жуков <sup>3</sup>, Илья Сергеевич Виноградов <sup>4</sup>,  
Панченко Ирина Алексеевна <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Самара, Россия

<sup>1, 3, 4</sup> Инженерно-технический центр-филиал ООО «Газпром трансгаз Самара», Самара, Россия

<sup>5</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

<sup>1</sup> komarov\_dimitriy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2003-2021>

<sup>2</sup> ksv@ssau.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

<sup>3</sup> dzetii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3709-1415>

<sup>4</sup> I.Vinogradov@samaratransgaz.gazprom.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2011-9781>

<sup>5</sup> i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1631-9644>

**Аннотация:** Одним из исследуемых направлений повышения технологических и эксплуатационных параметров металлических деталей и изделий является применение концентрированных потоков энергии для упрочнения их поверхности. В настоящее время, благодаря созданию более совершенных электронно-лучевых установок, наиболее перспективным методом целенаправленной модификации структурно-фазового состояния поверхностных слоев металлов и сплавов является электронно-пучковая обработка (ЭПО). Взаимодействие между ускоренными электронами и материалом мишени является сложным процессом, поэтому достоверно выполнить прогноз механических и эксплуатационных свойств, которые будет иметь изделие после модификации, аналитическими методами практически невозможно. Оценка эволюции облучаемого материала возможна только при проведении большого количества натурных исследований.

Настоящая статья является продолжением работы «Анализ современной ситуации в области применения электронно-пучковой обработки различных сплавов. Часть 1» [1], в которой была выполнена оценка использования ЭПО в качестве способа модификации поверхностных слоев сталей, алюминиевых и титановых сплавов.

Во второй части публикации выполнен анализ исследовательских работ в области применения ЭПО совместно с другими технологиями, а именно после электровзрывного легирования, электродуговой и электроконтактной наплавки, а также для модификации поверхностных слоев аддитивных сплавов. Выполненная оценка показала, что на оптимальные режимы ЭПО позволяют существенно повысить механические характеристики обрабатываемых поверхностей после указанных технологий.

Отмечено, что достоинства метода могли бы быть использованы для компенсации негативных факторов, действующих на одни лопатки турбин газотурбинных двигателей (ГТД). Большая часть указанных изделий, применяемых в отечественных наземных ГТД, выполнены из жаропрочных сплавов на никелевой основе без защитных покрытий. В настоящий момент прикладные исследования по подбору оптимальных режимов ЭПО для данной группы сплавов как в РФ, так и за ее пределами не проводились, поэтому тема является важной для более глубокой проработки.

**Ключевые слова:** высокоэнтропийные сплавы, традиционные сплавы, микроструктура, электронно-пучковая обработка (ЭПО), механические свойства.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания: 0809-2021-0013.

**Для цитирования:** Анализ современной ситуации в области применения электронно-пучковой обработки различных сплавов. Часть 2 / Д. В. Комаров [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 204 - 215. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.028. EDN: <https://elibrary.ru/vajzct>.

## ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION IN THE FIELD OF APPLICATION OF ELECTRON-BEAM PROCESSING OF VARIOUS ALLOYS. PART 2

Dmitriy V. Komarov<sup>1</sup>, Sergej V. Konovalov<sup>2,5</sup>, Dmitriy V. Zhukov<sup>3</sup>,  
Ilya S. Vinogradov<sup>4</sup>, Irina A. Panchenko<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Samara National Research University, Samara, Russia

<sup>1,3,4</sup> Engineering and technical center-branch of Gazprom transgaz Samara LLC, Samara, Russia

<sup>5</sup> Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

<sup>1</sup> komarov\_dimitriy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2003-2021>

<sup>2</sup> ksv@ssau.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

<sup>3</sup> dzetii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3709-1415>

<sup>4</sup> I.Vinogradov@samaratransgaz.gazprom.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2011-9781>

<sup>5</sup> i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1631-9644>

**Abstract.** *One of the areas under study to improve the technological and operational parameters of metal parts and products is the use of concentrated energy flows to harden their surface. At present, thanks to the creation of more advanced electron-beam installations, the most promising method for purposeful modification of the structural-phase state of the surface layers of metals and alloys is electron-beam processing (EBP). The interaction between accelerated electrons and the target material is a complex process; therefore, it is practically impossible to reliably predict the mechanical and operational properties that a product will have after modification by analytical methods. Evaluation of the evolution of the irradiated material is possible only when a large number of field studies are carried out.*

*This article is a continuation of the work "Analysis of the current situation in the field of application of electron-beam processing of various alloys. Part 1" [1], which evaluated the use of EBP as a method for modifying the surface layers of steels, aluminum and titanium alloys.*

*In the second part of the publication, an analysis of research works in the field of EBP application in conjunction with other technologies is carried out, namely, after electroexplosive alloying, electric arc and electrocontact surfacing, as well as for modifying the surface layers of additive alloys. The performed assessment showed that the optimal EBP modes can significantly increase the mechanical characteristics of the treated surfaces after the indicated technologies.*

*It is noted that the advantages of the method could be used to compensate for the negative factors acting on some turbine blades of gas turbine engines (GTE). Most of these products used in domestic ground-based gas turbine engines are made of heat-resistant nickel-based alloys without protective coatings. At the moment, applied research on the selection of optimal EBP modes for this group of alloys, both in the Russian Federation and abroad, has not been carried out, so the topic is important for deeper study.*

**Keywords:** *high-entropy alloys, traditional alloys, microstructure, electron-beam processing (EBP), mechanical properties.*

**Acknowledgments:** *The research was conducted as part of State Order No. 0809-2021-0013.*

---

**For citation:** Komarov, D.V., Konovalov, S.V., Zhukov, D.V., Vinogradov, I.S. & Panchenko, I.A. (2022). Analysis of the current situation in the field of application of electron-beam processing of various alloys. Part 2. *Polzunovskiy vestnik*, Polzunovskiy vestnik, (3), 204-215. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.028.

---

### 1. ПРИМЕНЕНИЕ ЭПО ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

В последние годы большой научный задел был получен в вопросах обработки по-

*POLZUNOVSKIY VESTNIK № 3 2022*

верхностных слоев металлических материалов с применением нескольких технологий, одним из которых является ЭПО. Применение сразу нескольких методов обработки позволяет минимизировать недостатки, присутствующие отдельно взятым технологиям. Совместно с ЭПО наиболее распространение полу-

чили сочетание с электровзрывным легированием (ЭВЛ) и технологией наплавки различными способами. Более подробно об этом написано в п.3 и п.4.

Суть ЭВЛ заключается в воздействии импульсных плазменных струй, формируемых при разряде емкостных накопителей энергии через проводники, на поверхности металлов и сплавов. Рабочее вещество ускорителя плазмы одновременно служит как для нагрева модифицируемых поверхностей, так и для их легирования [2]. Проведение ЭВЛ позволяет отказаться от разработки новых дорогостоящих материалов в пользу применения конструкционных и инструментальных сталей с необходимыми свойствами за счет модифицирования поверхностных слоев.

Главным недостатком метода является формирование на поверхности обрабатываемого материала покрытия толщиной от 2 до 15 мкм, содержащего большое количество капельной фракции, микрократеров и микротрещин. Наличие указанных дефектов в деталях и изделиях после ЭВЛ существенно снижает их эксплуатационные характеристики [2]. Поэтому для устранения негативного воздействия от пористости поверхности, получаемой после применения данной технологии, требуется проводить дополнительную обработку. В качестве такого метода хорошо себя зарекомендовало упрочнение поверхности с помощью электронных пучков. Ниже в статье проанализированы результаты исследований комбинирования технологий ЭВЛ и ЭПО для стали 45, титановых сплавов ВТ1-0 и ВТ6, а также для медного сплава М00.

При обзоре исследовательских работ в статье использованы следующие обозначения режимов электронных пучков:  $eU$  – энергия электронов, кэВ  $t$  – длительность воздействия электронного пучка электронов, мкс;  $N$  – количество импульсов воздействия, шт.;  $f$  – частота следования импульсов,  $c^{-1}$ ;  $E_s$  – плотность энергии пучка электронов, Дж/см<sup>2</sup>,  $q_e$  – плотность мощности, ГВт/м<sup>2</sup>.

### 1.1. ЭВЛ И ЭПО КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 45

Сталь 45 относится к конструкционным углеродистым нелегированным качественным сталям. Данный сплав является недорогим и широко применяется при изготовлении деталей, которые предполагается эксплуатировать при повышенных нагрузках (шестерни, валы, муфты, инструмент и др.). Изделия из стали 45 мало поддаются износу, могут эксплуатироваться в широком диапазоне температур.

206

Ряд достоинств, присущих указанному сплаву, способствовал разработке различными авторскими коллективами новых технологий с применением ЭВЛ и ЭПО, позволяющих модифицировать рабочие поверхности деталей, с целью придания им новых эксплуатационных характеристик. В работах [3-6] описаны эволюция структурно-фазового состояния стали, а также изменения некоторых механических и эксплуатационных характеристик, полученных при ЭВЛ медью [3, 5], алюминием и медью [4], бором и медью [6].

Установлено, что в результате ЭВЛ стали 45 медью, формируется многослойная структура, состоящая из покрытия с высоким уровнем дефектов, слоя плавления и слоя термического влияния, переходящего в основной объем образцов [3]. Микротвердость поверхностного слоя после ЭВЛ увеличивается в  $\approx 3,5$  раза. Применение ЭПО ( $t=50$  мкс,  $N=10$ ,  $f=0,3$   $c^{-1}$ ,  $E_s=15, 20, 25, 30$  Дж/см<sup>2</sup>) позволяет выглаживать поверхность, а также снизить концентрацию меди в поверхностном слое с увеличением плотности энергии пучка электронов (Рисунок 4) благодаря ее диффузии в основной объем материала. Микротвердость поверхности при этом удается повысить в  $\approx 6$  раз относительно сердцевины.

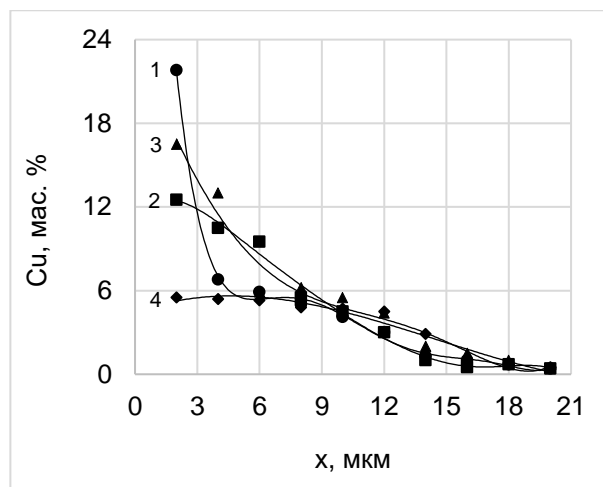


Рисунок 4 – Профиль концентрации меди в поверхностном слое стали, подвергнутой электровзрывному меднению и последующей электронно-пучковой обработке при различной плотности энергии пучка электронов (Дж/см<sup>2</sup>): 1) 15; 2) 20; 3) 25; 4) 30 (10 имп.; 50 мкс; 0,3 Гц) [3]

Figure 4 – Profile of copper concentration in the surface layer of steel subjected to electro-explosive copper plating and subsequent electron-beam processing at different energy density of the electron beam (J / cm<sup>2</sup>): 1) 15; 2) 20; 3) 25; 4) 30 (10 pulses; 50  $\mu$ s; 0,3 Hz) [3]

ЭВЛ алюминием и медью с последующей ЭПО ( $t=50$  мкс,  $N=2-200$ ,  $f=0,3$   $c^{-1}$ ,  $E_s=10-30$  Дж/см<sup>2</sup>) способствовали уменьшению ш-

**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022**

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ. ЧАСТЬ 2

роховатости поверхности обрабатываемых образцов [4]. Электровзрывное алитирование совместно с ЭПО позволили увеличить микротвердость в  $\approx 4$  раза, износостойкость в  $\approx 5$  раз. Электровзрывное меднение совместно с ЭПО привели к увеличению микротвердости в  $\approx 6$  раз, износостойкости в  $\approx 5$  раз.

Электровзрывное боромеднение с последующим ЭПО ( $q_e=2,0, 2,5, 3,0$  ГВт/м<sup>2</sup>,  $\tau=100$  мкс,  $N=10$ ,  $f=0,3$  с<sup>-1</sup>) способствовало уменьшению шероховатости поверхности, залечиванию поверхностных дефектов, стабилизации фазового состава зоны легирования [6].

В работе [5] как и в [3] также проводилось ЭВЛ медью с последующей ЭПО, параметры электронного луча были схожими за исключением количества импульсов:  $\tau=50$  мкс,  $N=5, 10, 15, 25, 50$ ,  $f=0,3$  с<sup>-1</sup>,  $E_s=20$  Дж/см<sup>2</sup>.

Удалось установить, что при увеличении количества импульсов воздействия возрастает концентрация меди в поверхностном слое. Так при 5 импульсах содержание меди по весу составляет  $\approx 8\%$ , при 50 импульсах  $\approx 18\%$ . При количестве импульсов выше 10 происходит существенное уменьшение твердости поверхности (Рисунок 5). Однако корреляция между указанными характеристиками незначительна.

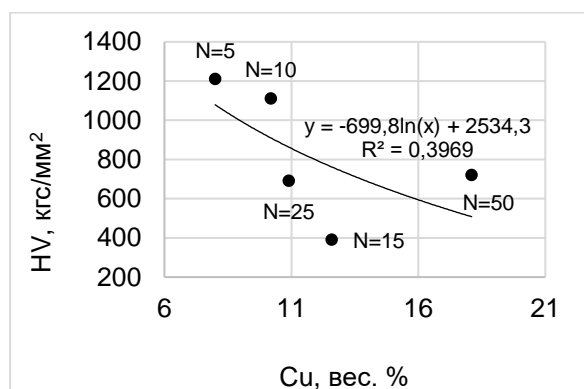


Рисунок 5 – Зависимость твердости поверхностного слоя стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию медью и последующей электронно-пучковой обработке, от концентрации меди в стали. Вариация по количеству импульсов облучения при  $E_s=20$  Дж/см<sup>2</sup>, 50 мкс, 0,3 Гц ( $R^2$  – величина достоверности аппроксимации)

Figure 5 – Dependence of the hardness of the surface layer of steel 45, subjected to electro-explosive alloying with copper and subsequent electron-beam processing, on the concentration of copper in steel. Variation in the number of irradiation pulses at  $E_s = 20$  J / cm<sup>2</sup>, 50  $\mu$ s, 0,3 Hz

( $R^2$  is the approximation reliability value)

### 1.2. ЭВЛ И ЭПО ТИТАНОГО СПЛАВА ВТ1-0

Титановый сплав ВТ1-0 обладает высокой прочностью, плотностью, легкостью, вязкостью, хорошей коррозионной стойкостью и небольшим коэффициентом теплового расширения. ВТ1-0 широко применяется в приборостроении, производстве компрессоров низкого давления, изготовлении авиационных двигателей, в производстве инструментов. Комплекс уникальных свойств, а также широкая применимость сплава, как и в случае со сталью 45 способствовали глубокому изучению применимости комбинированных технологий, таких как ЭВЛ и ЭПО, для получения новых характеристик материала.

Сформированная система Ti – Y на сплаве ВТ1-0 методом ЭВЛ с последующей ЭПО ( $\tau=150$  мкс,  $N=3$ ,  $f=0,3$  с<sup>-1</sup>,  $E_s=20-70$  Дж/см<sup>2</sup>) способствовали значительному повышению прочностных характеристик обрабатываемых образцов [7]. Микротвердость в среднем оказалась в 3 раза больше, чем у подложки, нанотвердость оказалась выше в 10 раз. Модуль упругости благодаря поверхностному сплаву Ti – Y увеличился в 1,2 раза. Благодаря сформированной зеренной структуре наблюдается снижение фактора износа в 1,75 раза (рисунок 6) и коэффициента трения в 1,1 раза.

ЭВЛ сплава диборидом титана с последующей ЭПО ( $eU=18$  кэВ,  $\tau=100$  мкс ( $N=10$ ), при  $\tau=200$  мкс ( $N=20$ ),  $E_s=45-60$  Дж/см<sup>2</sup>) позволили добиться увеличения микротвердости в  $\approx 10$  раз, износостойкости в  $\approx 8$  раз. При этом коэффициент трения уменьшился в  $\approx 1,2$  раза [8].

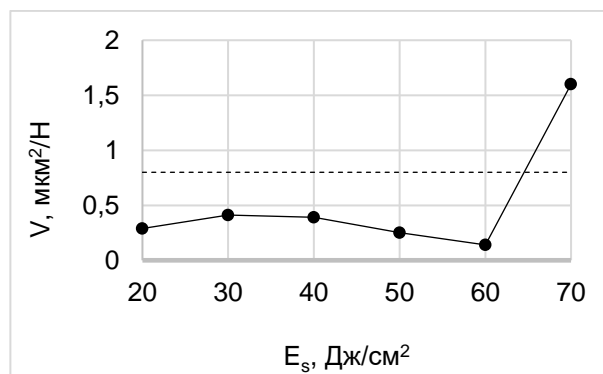


Рисунок 6 – Зависимость фактора износа V поверхностного слоя системы Ti-Y от плотности энергии пучка электронов (штриховая линия соответствует материалу подложки) [7]

Figure 6 - Dependence of the wear factor V of the surface layer of the Ti-Y system on the energy density of the electron beam (the dashed line corresponds to the substrate material) [7]



Электровзрывное науглероживание сплава ВТ1-0 с последующей ЭПО ( $E_s=45$  Дж/см<sup>2</sup>,  $f=0,3$  с<sup>-1</sup>,  $\tau_1=100$  мкс ( $N_1=10$ ),  $\tau_2=100$  мкс ( $N_2=20$ ),  $\tau_3=200$  мкс ( $N_3=10$ ),  $\tau_4=200$  мкс ( $N_4=20$ ) позволили в оптимальном режиме до 14 раз увеличить микротвердость поверхности облучения [9]. Установлено, что распределение твердости по глубине имеет двузонный характер. В пределах каждой зоны микротвердость меняется лишь на 10-15%, тогда как при переходе от одной зоны к другой в 1,5-2,5 раза. Увеличение числа импульсов при неизменных значениях плотности энергии и длительности импульса приводит к росту толщины выделенных слоев, снижению пористости поверхностного слоя, формированию дендритной структуры в другом слое, эмульгированию промежуточного слоя.

ЭВЛ иттрием с последующим ЭПО на оптимальном режиме ( $eU=18$  кэВ,  $\tau_1=150$  мкс ( $N_1=10$ ), при  $\tau_2=200$  мкс ( $N_2=20$ ),  $E_s=50$  Дж/см<sup>2</sup>) способствовали снижению в 3 раза скорости изнашивания материала и в 7 раз коэффициента трения [10]. При этом модуль Юнга поверхностного слоя относительно подложки увеличился в  $\approx 1,2$  раза.

### 1.3. ЭВЛ И ЭПО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6

Титановый сплав ВТ6 является одним из самых востребованных в России, а также пользуется спросом за рубежом. К достоинствам сплава можно отнести высокие показатели пластичности, хорошую механическую обрабатываемость, малую плотность, устойчивость к воздействию агрессивных сред, способность работать при больших температурах. ВТ6 применяется в фармацевтической, пищевой, химической промышленности, а также в авиационной промышленности.

Вкратце отметим, что за последние 10 лет различными авторскими коллективами выполнена большая работа по определению влияния ЭВЛ с последующей ЭПО на свойства ВТ6 после модификации. В качестве легирующих добавок для данного сплава применялись карбид бора [11, 12], карбид кремния [13], углеграфитовое волокно [14], оксидом циркония [15].

Во всех проводимых исследованиях установлено, что при подборе оптимального режима ЭПО происходит выглаживание поверхности, перемещение легирующих элементов вдоль обрабатываемой поверхности, улучшение прочностных и трибологических характеристик.

### 1.4. ЭВЛ И ЭПО МЕДИ М00

Марка М00 относится к сверхчистой меди, используется для изготовления проводни-

ков тока, а также прецизионных сплавов. Интерес к исследованию влияния комбинированных технологий (ЭВЛ + ЭПО) на свойства указанного материала был вызван необходимостью получения износостойкого покрытия на поверхности изготовленных из него изделий, подверженных интенсивным механическим воздействиям при эксплуатации.

В работе [16] ЭВЛ сплава проводилось материалами системы Мо-Си. После чего проводили ЭПО на пяти режимах: 1)  $E_s=45$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\tau=100$  мкс,  $N=10$  шт.; 2)  $E_s=50$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\tau=100$  мкс,  $N=10$  шт.; 3)  $E_s=55$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\tau=100$  мкс,  $N=10$  шт.; 4)  $E_s=60$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\tau=100$  мкс,  $N=10$  шт.; 5)  $E_s=60$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\tau=200$  мкс,  $N=20$  шт.

Исследования обработанных образцов показали, что ЭПО в режиме плавления поверхностного слоя приводят к его гомогенизации. По всей модифицированной области формируется дисперсно-упрочненная структура. Выявлены режимы, позволяющие формировать прочные поверхностные слои с зеркальным блеском, обладающие субмикронной и нанокристаллической структурой, сформированной из Мо и Си.

ЭВЛ сплава покрытием состава Ag-Ni-N с последующей ЭПО ( $E_s=20$  и  $40$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\tau=200$  мкс,  $N=3$  шт.) и проведением азотирования (923 К, 3 часа) позволили увеличить износостойкость покрытия на 13 % [17]. При этом коэффициент трения уменьшился на 3 %, а твердость поверхности получилась неоднородной, но в среднем превысила твердость подложки на 13 %. Установлено, что основным элементом покрытия является Ag, а фазовый состав существенно зависит от плотности энергии пучка электрона.

ЭВЛ сплава покрытием Cu-Cr с последующим ЭПО ( $E_s=55$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\tau=100$  мкс,  $f=0,3$  с<sup>-1</sup>,  $N=10$  шт.) способствовали формированию поверхностного слоя с высокими характеристиками твердости [18].

Таким образом, анализ выполненных исследований применения комбинированного метода обработки, а именно проведение ЭВЛ с последующей обработкой импульсным электронным лучом позволяет в наибольшей степени компенсировать недостатки указанных методов как отдельных технологий для модификации металлов и сплавов. ЭВЛ позволяет доставлять легирующие элементы на большую глубину обрабатываемых изделий, повышая при этом их механические и эксплуатационные характеристики. Применение данного метода дает возможность отказаться от объемного дорогостоящего легирования обрабатываемых деталей и изделий. Присущие ЭВЛ недостатки легко устраняются в хо-

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ. ЧАСТЬ 2

де проведения последующей ЭПО на оптимальных режимах. Анализ данного вопроса позволяет говорить о перспективности применения комбинированной технологии на производстве. Причем показано, что материалом подложки могут служить как стали, так и сплавы на основе титана и меди.

### **2. ПРИМЕНЕНИЕ ЭПО ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ ФОРМИРОВАНИЯ НА НИХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ИЛИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКИ**

Суть наплавки заключается в нанесении металлического слоя на поверхность заготовки путем сварки плавлением. С помощью наплавки решаются задачи по ремонту металлических деталей и изделий путем возобновления их геометрии. Технология может быть также применена для придания конструкции новой формы. Главным преимуществом использования наплавки в отличие от традиционной сварки является придание наплавляемому слою определенных химических и физических свойств, что позволяет повысить эксплуатационные характеристики модифицируемых заготовок [19].

Из существующих способов наплавки в статье будут рассмотрены два, электродуговая и электроконтактная. Электродуговая наплавка отличается простотой и доступностью, позволяет получить наплавленный металл практически любой системы. К недостаткам технологии можно отнести непостоянное качество наплавленного слоя, большое проплавление основного металла. К достоинствам электроконтактной наплавки в отличие от электродуговой можно отнести отсутствие проплавления основного металла, возможность наплавки слоев малой толщины. Недостатком метода является ограниченная номенклатура наплавляемых заготовок [20].

В работах [21-23] исследовалось влияние указанных видов наплавки различных систем с последующей ЭПО на свойства получаемых покрытий. Материалом основы во всех случаях выступила зарубежная мартенситная низкоуглеродистая сталь Hardox 450 (наиболее близкими аналогами среди отечественных марок являются: 18ХГНМФР, 14ХГСАФД, 25ХГСР, 16ХГМФТР), имеющая высокую износостойкость, хорошие свойства холодной гибки и свариваемости.

Исследование свойств наплавленного электроконтактной сваркой слоя системы Fe-C-Cr-Nb-W проводилось после ЭПО на следую-

щих режимах:  $E_s=30$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\tau=200$  мкс,  $N=20$  шт.,  $E_s=30$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\tau=50$  мкс,  $N=1$  шт. [21].

Установлено, что проведение обработки наплавленного слоя электронным пучком приводит к измельчению структуры и изменению морфологии карбидной фазы слоя. Благодаря сформированной структуре износостойкость наплавленного слоя в 70 раз превысила данный параметр у подложки. Коэффициент трения уменьшился в  $\approx 1,5$  раза

Исследование [22] свойств наплавленного электродуговым способом системы Fe-C-Ni-V выполнялось после проведения ЭПО в два этапа на таких же режимах, как в работе [21]. Модифицирование электронными пучками наплавленного слоя позволила в 20 раз увеличить фактор износостойкости, уменьшить в 4 раза коэффициент трения.

В работе [23] наплавку системы Fe-C-V-Cr-Nb-W выполняли электроконтактным способом, модифицирование наплавленного слоя также выполняли с помощью ЭПО в два этапа, режимы которой были идентичны исследованиям [21, 22].

Упрочнение электронным пучком наплавленного слоя привело к увеличению износостойкости в 32,5 раза. Повышение трибологических свойств стало возможным благодаря сформированному в нем после высокоскоростной закалки поверхностного слоя толщиной до 50 мкм многофазной структуры. Выполненные исследования показали, что ее состав представлен карбидами легирующих элементов и мартенсита пакетной морфологии, поперечные размеры кристаллов которого в 3-4 раза меньше поперечных размеров кристаллов той же стали при печной закалке.

Таким образом, исследования [21-23] показали, что ЭПО может успешно применяться в качестве дополнительного метода упрочнения наплавленных слоев для улучшения их трибологических характеристик. Необходимо отметить, что в отличие от ЭВЛ и последующего ЭПО, модифицирование наплавленных слоев в рассматриваемых работах проходило в два этапа. Подбор режимов облучения был осуществлен по результатам расчета температурного поля, формирующегося в поверхностном слое при одноимпульсном облучении материала [24, 25].

### **3. ПРИМЕНЕНИЕ ЭПО ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ АДДИТИВНЫХ СПЛАВОВ**

В последние годы все больший интерес в области физического материаловедения вызывают высокоэнтропийные сплавы из-за

возможности формирования уникальных свойств при их создании [26, 27]. Одним из способов получения указанных сплавов является применение аддитивных технологий (АТ). Применяемые сегодня АТ можно разделить по типу источника энергии, который используется для расплавления исходного материала: лазерная энергия, энергия пучка электронов, энергия электрической дуги и энергия плазмы.

Анализ работы [28] показал, что самым молодым на сегодняшний день направлением является проволоочно-дуговое аддитивное производство. Данный метод имеет высокую скорость осаждения и высокую степень использования материала, обладает возможностью создания деталей больших размеров.

Развитие новой технологии сопровождается не только исследованиями, направленными на определение оптимальных режимов для различных систем, но и поиском дополнительных технологий, которые позволили бы улучшить поверхностные свойства сплавов. Одним из перспективных методов модификации сплавов аддитивного производства является ЭПО. Данный вывод нашел подтверждение своей применимости в работах [29-31].

Так, исследования [29] показали, что ЭПО ( $E_s=10, 15, 20, 25, 30$  Дж/см<sup>2</sup>,  $t=200$  мкс,  $N=3$  шт.) высокоэнтропийного сплава системы AlCoCrFeNi, полученного с помощью проволоочно-дуговой аддитивной технологии, приводит к увеличению прочности и пластичности облученного материала. Предел прочности на сжатие увеличился в 1,1-1,6 раз, наибольшее значение при этом составило 2179 МПа. Условный предел текучести на сжатие при этом составил 522 МПа, модуль Юнга 257 МПа.

В работе [30] выполнено исследование структуры и свойств образцов Al-Mg-сплава, изготовленного аддитивным методом дуговой сварки с последующим проведением ЭПО ( $E_s=15$  Дж/см<sup>2</sup>,  $t=200$  мкс,  $N=3$  шт.). Установлено, что облучение электронным пучком приводит к плавлению и высокоскоростной кристаллизации поверхностного слоя толщиной до 45 мкм. Образцы, обработанные пучком, показали высокую повторяемость прочностных и пластических свойств при проведении испытаний на растяжение по сравнению с необработанными образцами.

Дальнейшие исследования сплава, описанного в статье [30], показали, что при плотности энергии в 10 Дж/см<sup>2</sup> наблюдается выравнивание размера зерен модифицированного слоя, для режима характерно минимальное значение глубины микротрещин, при

этом изменения в фазовом составе материала не происходило [31].

Таким образом, пионерские работы [28-31] доказали, что применение проволоочно-дуговой аддитивной технологии и последующей ЭПО позволяет благоприятно модифицировать структуру верхнего слоя наплавленного материала на оптимальных режимах электронного пучка. Дальнейшее исследование комбинированного применения указанных технологий является перспективным направлением в материаловедение.

#### **4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭПО ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ НИКЕЛЕВЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ**

Вопрос о применении ЭПО для модификации поверхностных слоев изделий, выполненных из жаропрочных сплавов на никелевой основе не просто так вынесен в отдельный пункт. Обусловлено это тем, что из указанных материалов изготавливаются одни из наиболее нагруженных и ответственных ГТД, а именно лопатки турбин высокого и низкого давления (ТВД, ТНД).

В процессе работы лопатки испытывают значительные осевые, радиальные и вибрационные нагрузки. Изделия работают продолжительное время при повышенных температурах в продуктах сгорания топлива, что приводит к деградации их материала. Изменение физико-химических свойств металла лопаток, в первую очередь уменьшение его характеристик пластичности, создает благоприятные условия к накоплению усталостных повреждений в приповерхностном слое материала изделий, приводящих к возникновению усталостных трещин, их развитию и окончательному разрушению. В свою очередь обрыв даже небольшой части пера лопатки может привести к лавинообразному разрушению всей ступени, а затем и полностью проточной части двигателя. Именно поэтому продление ресурса таких дорогостоящих изделий как лопатки является актуальной задачей, которая может быть реализована за счет предварительного упрочнения поверхностных слоев электронными пучками.

В работах [32-35] проводилось исследование влияния сильноточных импульсных электронных пучков (СИЭП) на состояние поверхностных слоев лопаток ГТД, выполненных из никелевых сплавов ЖС-36, ЖС26НК и ЖС32ВИ. Во всех случаях предварительно на поверхность образцов наносилось защитное покрытие системы Ni-Cr-Al-Y. Результаты исследований доказали, что СИЭП является эффективным инструментом для модифицирования поверхности как

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ. ЧАСТЬ 2

обычных лопаток, так и с перфорированными отверстиями. В отдельных случаях удалось показать, что комбинированная технология позволяет повысить усталостную прочность лопаток на 10-30 %, жаростойкость в 2-3 раза, сопротивление солевой коррозии – до 6 раз.

Кроме того, применение электронных пучков низкой мощности позволяет выполнять полировку поверхности обрабатываемых изделий. Данный факт имеет весомое значение при выборе технологии для поверхностной обработки лопаток, т.к. шероховатость их поверхности существенно влияет на коэффициент полезного действия ТВД [36] и всей установки в целом.

Применение концентрированных импульсных потоков энергии сегодня для изготовления и ремонта лопаток ГТД, изготовленных из жаропрочных никелевых сплавов без применения защитных покрытий, является малоизученным направлением. Однако прикладные исследования в этой области смогли бы дать ответ на вопрос о применимости электронного луча для модификации поверхности деталей горячего тракта. Подбор оптимальных режимов обработки позволил бы внедрить технологию в массовое производство, увеличив при этом ресурс работы и безопасность эксплуатации ГТД.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современной ситуации в области применения ЭПО с целью повышения механических и эксплуатационных свойств металлов и сплавов позволяет сделать принципиальный вывод о применимости технологии к широкому кругу металлических материалов, в частности к: нержавеющей, инструментальной и жаропрочным сталям, сплавам на основе титана, алюминия, меди и никеля.

Результаты исследований различных авторских коллективов показали, что обработка электронным пучком на оптимальных режимах позволяет существенно повысить такие характеристики поверхностного слоя изделий как износостойкость, микротвердость, нанотвердость, модуль Юнга, уменьшить коэффициент трения. Благодаря поверхностному упрочнению, в конечном итоге, удается существенно повысить такие важные эксплуатационные характеристики как коррозионная стойкость и усталостная долговечность изделий.

ЭПО является также хорошим инструментом для дополнительной обработки поверхностей после электровзрывного легирования и наплавки различных систем. Воздействие электронных пучков позволяет гомоген-

низировать поверхностные слои обрабатываемых изделий, при этом в большинстве случаев фиксируется существенное увеличение их прочностных свойств, а также улучшение трибологических характеристик.

Однако в настоящее время отсутствует серьезный научный задел в обработке электронными пучками жаропрочных сплавов на никелевой основе без защитных покрытий. Ожидается, что статья сыграет важную роль в исследованиях модифицирующих свойств ЭПО на указанные сплавы, результатом которых станет понимание и описание физической модели процессов взаимодействия пучка с указанными материалами. Проведение прикладных исследований по подбору оптимальных режимов облучения поможет массово применять технологию при производстве изделий из никелевых сплавов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ современной ситуации в области применения электронно-пучковой обработки различных сплавов. Часть 1 / Д.В. Комаров [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 129-139. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.00.000.
2. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А. Я. Багаутдинов [и др.]. Новокузнецк : изд-во СибГИУ, 2007. 301 с..
3. Легирование поверхности углеродистой стали медью путем электрического взрыва проводника и последующей электронно-пучковой обработки / Иванов Ю.Ф. [и др.]. // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 318, № 2. С. 101-105.
4. Разработка комбинированного метода модификации поверхности стали 45 / Филимонов С.Ю. [и др.]. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика. 2011. № 5 (100), С. 195-200.
5. Структура и микротвердость углеродистой стали 45 после электровзрывного меднения и последующей электронно-пучковой обработки / Громов В.Е. [и др.]. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 2 (46), С. 51-62.
6. Особенности влияния электронно-пучковой обработки на поверхность стали 45 после электровзрывного боромеднения / Ващук Е.С. [и др.]. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2011. № 3 (52), С. 69-72.
7. Соснин К.В., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф. Особенности физико-механических свойств поверхностного сплава системы Ti - Y, сформированного методами электровзрывного легирования и электронно-пучковой обработки // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 1 (11). С. 11-12.
8. Структурно-фазовые состояния наноструктурированных поверхностных слоев титана BT1-0 после комбинированной электронно-ионно-

плазменной обработки / Иванов Ю.Ф. [и др.]. // Решетневские чтения. 2014. Т. 1, С. 291-293.

9. Влияние электронно-пучковой обработки на структуру и микротвердость поверхности технически чистого титана BT1-0 после электровзрывного науглероживания / Бащенко Л.П. [и др.]. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т. 9. № 1, С. 15-22.

10. Свойства поверхностных слоев титана после электровзрывного легирования иттрием и электронно-пучковой обработки / Романов Д.А. [и др.]. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2016. Т. 13. № 3, С. 283-291.

11. Поверхностное упрочнение сплава BT6 электровзрывным легированием с карбидом бора и электронно-пучковой обработкой / Кобзарева Т.Ю. [и др.]. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2015. № 4 (69), С. 102-112. doi 10.17212/1994-6309-2015-4-102-112.

12. Будовских Е.А., Бащенко Л.П., Райков С.В. Электровзрывное легирование поверхности сплава BT6 порошком карбида бора с последующей электронно-пучковой обработкой // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2019. Т. 16 № 4, С. 474-481. doi 10.25712/ASTU.1811-1416.2019.04.007.

13. Модификация поверхности сплава BT6 плазмой электрического взрыва проводящего материала и облучением электронным пучком / Иванов Ю.Ф. [и др.]. // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2013. № 6, С. 45-49.

14. Анализ растворения углерода в титане при электронно-пучковой обработке / Громов В.Е. [и др.]. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2013. Т. 5. № 1, С. 82-87.

15. Структура зоны упрочнения титанового сплава BT6 при электровзрывном науглероживании совместно с оксидом циркония и последующей электронно-пучковой обработке / Кобзарева Т.Ю. [и др.]. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 4-2, С. 1717-1718.

16. Структура композиционных покрытий из несмешивающихся компонентов системы Cu-Mo, полученных электровзрывным напылением и последующей электронно-пучковой обработкой / Романов Д.А. [и др.]. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2013. № 5, С. 267-273.

17. Структура и свойства покрытия на основе серебра, никеля и азота, сформированного комбинированным методом на меди / Иванов Ю.Ф. [и др.]. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2021. Т. 18. № 1, С. 68-73. doi 10.25712/ASTU.1811-1416.2021.01.010.

18. Структурно-фазовое состояние электроэрозионного покрытия Cu-Cr, сформированного на меди комбинированным методом / Романов Д.А. [и др.]. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 7 (139), С. 25-29.

19. Черноиванов В. И., Голубев И. Г. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы). Москва: ФГНУ «Росинформатех». 2010. 376 с.

20. Щербаков, Ю. В., Кашфуллин А. М. Современные способы восстановления и упрочнения деталей / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». Пермь : ИПЦ Прокрость, 2018. 191 с.

21. Структура и трибологические свойства поверхностного слоя, наплавленного на мартенситную сталь и модифицированного электронно-пучковой обработкой / Громов В.Е. [и др.]. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2017. Т. 14. № 1, С. 28-33.

22. Повышение свойств низкоуглеродистой стали наплавкой порошковой борсодержащей проволокой / Рубаникова Ю.А. [и др.]. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. № 4(26), С. 3-7.

23. Электронно-пучковая модификация упрочненного слоя, сформированного на стали Hardox 450 электроконтактной наплавкой проволоки системы Fe-C-V-Cr-Nb-W / Коновалов С.В. [и др.]. // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 4 (24), С. 350-354. doi 10.22226/2410-3535-2016-4-350-354.

24. Громов В.Е., Иванов Ю.Ф. Модифицирование структуры и свойств легких сплавов упрочняющими технологиями. Новокузнецк : Полиграфист, 2015. 226 с.

25. Гришунин В.А., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Денисова Ю.А. Электронно-пучковая модификация структуры и свойств стали. / Новокузнецк: Полиграфист, 2012. 308 с.

26. Высокоэнтропийные сплавы. / Громов В.Е. [и др.]. Новокузнецк : Полиграфист, 2021. 178 с.

27. George E.P., Curtin W.A., Tagan C.C. High entropy alloys: A focused review of mechanical properties and deformation mechanisms // Act. Mater. 2020. Vol. 188, P. 435–474.

28. Структурно-фазовое состояние высокоэнтропийного сплава Al-Co-Cr-Fe-Ni, полученного проволочно-дуговой аддитивной технологией / Осинцев К.А. [др.]. // Ползуновский вестник, 2021. № 1, С. 141-146. doi 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.020.

29. Исследование структуры и свойств высокоэнтропийного сплава AlCoCrFeNi после электронно-пучковой обработки / Иванов Ю.Ф. [и др.]. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2021. Т. 18. № 2, С. 154-164. – doi 10.25712/ASTU.1811-1416.2021.02.002.

30. Модификация импульсным электронным пучком поверхности образцов Al-Mg-сплава, полученного методами аддитивных технологий: структура и свойства / Гэн Я. [и др.]. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2021. № 5, С. 42-46. doi 10.31857/S1028096021050083.

31. Effect of electron beam energy densities on the surface morphology and tensile property of additively manufactured Al-Mg alloy / Geng Y. [et al.]. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2021. Vol. 498, P. 15-22.

32. Применение сильноточных импульсных электронных пучков для восстановления эксплуа-

**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022**

тационных свойств лопаток газотурбинных двигателей / Шулов В.А. [и др.]. // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2014. № 1, С. 43-49.

33. Влияние облучения сильноточными импульсными электронными пучками на поверхностные слои современных жаропрочных никелевых сплавов с ионно-плазменными покрытиями различного состава / Быценко О.А. [и др.]. // Труды ВИАМ. 2016. № 6 (42), С. 10. doi 10.18577/2307-6046-2016-0-6-10-10.

34. Применение сильноточных импульсных электронных пучков для модифицирования поверхности лопаток газотурбинного двигателя с перфорационными отверстиями / Шулов В.А. [и др.]. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 10(106), С. 23-25.

35. Применение сильноточных импульсных электронных пучков для модифицирования поверхности лопаток газотурбинных двигателей (обзор) / В. А. Шулов [и др.]. // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2015. № 1, С. 38-48. doi 10.17073/1997-308X-2015-1-38-48.

36. Оценка влияния шероховатости поверхности лопаток на параметры турбины высокого давления / Хайрулин В.Т. [и др.]. // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2014. №37, С. 99-111.

#### **Информация об авторах**

*Д. В. Комаров – аспирант кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева; ведущий инженер Инженерно-технического центра-филиала ООО «Газпром трансгаз Самара».*

*С. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории ОНИЛ-4 Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, проректор по научной и инновационной деятельности Сибирского государственного индустриального университета.*

*Д. В. Жуков – аспирант кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева; начальник группы Инженерно-технического центра-филиала ООО «Газпром трансгаз Самара».*

*И. С. Виноградов – начальник Инженерно-технического центра-филиала ООО «Газпром трансгаз Самара».*

*И. А. Панченко – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента качества и инноваций, заведующий лабораторией электронной микроскопии и обработки изображений Сибирского государственного индустриального университета.*

#### **REFERENCES**

1. Komarov, D.V., Konovalov, S.V., Zhukov, D.V., Vinogradov, I.S. & Panchenko, I.A. (2021). Analysis of the current situation in the field of application of electron-beam processing of various alloys. Part 1. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 129-139. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.017.

2. Bagautdinov, A.Ya., Budovskih, E.A., Ivanov, Yu.F. & Gromov, V.E. (2007). *Physical foundations of electroexplosive alloying of metals and alloys* [Translated by author of the article]. Novokuzneck: Izd-vo SibGIU. (In Russ.).

3. Ivanov, Yu.F., Filimonov, S.Yu., Teresov, A.D., Kolubaeva, Yu.A., Budovskih, E.A. & Gromov, V.E. (2011). Alloying the surface of carbon steel with copper by electrical explosion of the conductor and subsequent electron-beam processing [Translated by author of the article], *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 318(2), 101-105. (In Russ.).

4. Filimonov, S.Yu., Ivanov, Yu.F., Gromov, V.E. & Budovskih, E.A. (2011). Development of a combined method for modification of the surface of steel 45 [Translated by author of the article], *Scientific bulletin of Belgorod State University. Series: Mathematics. Physics* [Translated by author of the article], 5(100), 195-200. (In Russ.).

5. Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F., Romanov, D.A., Budovskikh, E.A., Vashchuk, E.S., Denisova, Yu.A., Konovalov, S.V., Teresov, A.D. & Filimonov, S.Yu. (2014). Peculiarities of electroexplosive copper plating of steel 45 and subsequent electron-beam processing. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2(46), 51-62. (In Russ.).

6. Vashchuk, E.S., Budovskih, E.A., Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F., Teplyh, A.M. & Droblyaz, E.A. (2011). The influence of electron beam treatment on a surface of steel 45 after electroexplosive borocoppering. *Obrabotka Metallov / Metal Working and Material Science*, 3(52), 69-72. (In Russ.).

7. Sosnin, K.V., Budovskih, E.A. & Ivanov, Yu.F. (2015). Peculiarities of physical-mechanical properties of the surface alloy of Ti-Y system formed by the methods of electro-explosive alloying and electron-beam treatment. *Bulletin of the Siberian State Industrial University* [Translated by author of the article], 1(11), 11-12. (In Russ.).

8. Ivanov, Yu.F., Teresov, A.D., Gromov, V.E., Budovskih, E.A. & Klopotov, A.A. (2014). Structural-phase state of the surface layers of nanostructured titanium VT1-0 after combined electron-ion-plasma treatment. *Reshetnev reading*, (1), 291-293. (In Russ.).

9. Bashchenko, L.P., Soskova, N.A., Ivanov, Yu.F., Teresov, A.D., Rajkov, S.V., Budovskih, E.A. & Gromov, V.E. (2012). Influence of electron-beam processing on the structure and microhardness of the surface of commercially pure VT1-0 titanium after electroexplosive carburization. *Basic problems of material science*, 9(1), 15-22. (In Russ.).

10. Romanov, D.A., Sosnin, K.V., Gromov, V.E. & Ivanov, Yu.F. (2016). Properties of surface layers of titanium after electroexplosive alloying with yttrium and electron-beam processing [Translated by author of the article]. *Basic problems of material science*, 13(3), 283-291. (In Russ.).

11. Kobzareva, T.Yu., Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F., Konovalov, S.V., Budovskikh, E.A. & Bataev, V.A. (2015). Surface hardening alloy VT6 of electro-explosion alloying with boron carbide and by electron beam treatment. *Obrabotka Metallov / Metal Working and Material Science*, 4(69), 102-112. (In Russ.). doi 10.17212/1994-6309-2015-4-102-112.
12. Budovskikh, E.A., Bashchenko, L.P. & Rajkov, S.V. (2019). Electroexplosive alloying of the surface of the alloy VT6 by powder of boron carbide with subsequent electron-beam treatment. *Basic problems of material science*, 16(4), 474-481. (In Russ.). doi 10.25712/ASTU.1811-1416.2019.04.007.
13. Ivanov, Yu.F., Kobzareva, T.Yu., Rajkov, S.V., Gromov, V.E., Soskova, N.A. & Budovskikh, E.A. (2013). Modification of the surface of VT6 alloy by the plasma of an electric explosion of a conductive material and irradiation with an electron beam [Translated by author of the article]. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, (6), 45-49. (In Russ.).
14. Gromov, V.E., Rajkov, S.V., Sherstobitov, D.A., Ivanov, Yu.F., Haimzon, B.B. & Konovalov, S.V. (2013). Analysis of carbon dissolution in titanium under electron beam treatment. *Bulletin of the South Ural State University», series «Mathematics. Mechanics. Physics*, 5(1), 82-87. (In Russ.).
15. Kobzareva, T.Yu., Rajkov, S.V., Soskova, N.A., Vashchuk, E.S., Budovskikh, E.A., Gromov, V.E. & Ivanov, Yu.F. (2013). Structure of hardening zone of titanium alloy VT6 by electro-explosive carburizing with oxide zirconium and subsequent electron-beam treatment. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 18(4-2), 1717-1718. (In Russ.).
16. Romanov, D.A., Olesyuk, O.V., Budovskikh, E.A., Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F. & Teresov, A.D. (2013). Structure of composite coatings immiscible component of, received electroexplosive spraying and a modified high intensity electron beam. *Physico-chemical aspects of studying clusters, nanostructures and nanomaterials* [Translated by author of the article], (5), 267-273. (In Russ.).
17. Ivanov, Yu.F., Pochetuha, V.V., Romanov, D.A. & Gromov, V.E. (2021). Structure and properties of coating based on silver, nickel and nitrogen formed by the combined method on copper. *Basic problems of material science*, 18(1), 68-73. (In Russ.). doi 10.25712/ASTU.1811-1416.2021.01.010.
18. Romanov, D.A., Goncharova, E.N., Budovskikh, E.A., Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F. & Teresov, A.D. (2016). Research of structure and tribological properties of Cu-Cr electroerosive coating, formed on copper by the combined method. *Hardening technologies and coatings* [Translated by author of the article], 7(139), 25-29. (In Russ.).
19. Chernoiyanov, V. I. & Golubev, I. G. (2010). *Restoration of machine parts (State and prospects)*. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh». (In Russ.).
20. Shcherbakov, Yu. V. & Kashfullin, A. M. (2018). *Modern methods of restoring and hardening parts*. Permian: IPC Prokrost'. (In Russ.).
21. Gromov, V.E., Kormyshev, V.E., Konovalov, S.V., Ivanov, Yu.F., Teresov, A.D. & Bataev, V.A. (2017). Structure and tribological properties of the surface layer deposited on martensitic steel and modified by electron-beam processing [Translated by author of the article]. *Basic problems of material science*, 14(1), 28-33. (In Russ.).
22. Rubannikova, Yu.A., Kormyshev, V.E., Gromov, V.E., Kosinov, D.A. & Romanov, D.A. (2018). Increasing properties of low-carbon steel by means of boron cord wire depositing. *Bulletin of the Siberian State Industrial University* [Translated by author of the article], 4(26), 3-7. (In Russ.).
23. Konovalov, S.V., Kormyshev, V.E., Ivanov, Yu.F. & Teresov, A.D. (2016). Electron-beam processing of the hardened layer formed on Hardox 450 steel electric-wire welding system Fe-C-V-Cr-Nb-W. *Letters on Materials*, 6(4 (24)), 350-354. (In Russ.). doi 10.22226/2410-3535-2016-4-350-354.
24. Gromov, V.E. & Ivanov, Yu.F. (2015). *Modification of the structure and properties of light alloys by strengthening technologies* [Translated by author of the article]. Novokuznetsk: Poligrafist. (In Russ.).
25. Grishunin, V.A., Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F. & Denisova, Yu.A. (2012). *Electron-beam modification of the structure and properties of steel* [Translated by author of the article]. Novokuznetsk: Poligrafist. (In Russ.).
26. Gromov, V.E., Konovalov, S.V., Ivanov, Yu.F., Osincev, K.A., Rubannikova, Yu.A., Peregudov, O.A. & Semin, A.P. (2021). *High entropy alloys* [Translated by author of the article]. Novokuznetsk: Poligrafist. (In Russ.).
27. George, E.P., Curtin, W.A. & Tagan, C.C. (2020). High entropy alloys: A focused review of mechanical properties and deformation mechanisms. *Act. Mater.*, (188), 435-474.
28. Osincev, K.A., Gromov, V.E., Konovalov, S.V., Panchenko, I.A. & Vashchuk, E.S. (2021). Structural-phase state of high-entropy Al-Co-Cr-Fe-Ni alloy obtained by wire-arc additive technology. *Polzunovskij vestnik*, 2021, (1), 141-146. (In Russ.). doi 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.020.
29. Ivanov, Yu.F., Gromov, V.E., Konovalov, S.V., Rubannikova, Yu.A., Osincev, K.A. & Chen, S. Research of the structure and properties of AlCo-CrFeNi high entropy alloy subjected to electron beam processing. *Basic problems of material science*, 18(2), 154-164. (In Russ.). doi 10.25712/ASTU.1811-1416.2021.02.002.
30. Gen, Ya., Panchenko, I.A., Chen, S., Konovalov, S.V. & Ivanov, Yu.F. (2021). Modification by a pulse electron beam of the surface of Al-Mg alloy samples obtained by the methods of additive technologies: structure and properties. *Journal of Surface Investigation. X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, (5), 42-46. (In Russ.). doi 10.31857/S1028096021050083.
31. Geng, Y., Konovalov, S., Chen, X., Panchenko, I. & Ivanov, Y. (2021). Effect of electron beam energy densities on the surface morphology and tensile property of additively manufactured Al-Mg alloy. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, (498), 15-22.
32. Shulov, V.A., Engel'ko, V.I., Gromov, A.N., Teryaev, D.A., Bycenko, O.A. & Shirvan'yanc, G.G. (2014). Application of high-current pulsed electron beams to restore the operational properties of gas turbine engine blades [Translated by author of the article]. *Izvestiya Vuzov. Poroshkovaya Metallurgiya i Funktsional'nye Pokrytiya*, (1), 43-49. (In Russ.).

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ. ЧАСТЬ 2

33. Bycenko, O.A., Filonova, E.V., Markov, A.B. & Belova, N.A. (2016). Influence of radiation by high-current pulse electronbeams on surface layers of modern heat-resisting nickel alloys with ion-plasma coatings of different composition. *Proceedings of VIAM*, 6(42), 10. (In Russ.). doi 10.18577/2307-6046-2016-0-6-10-10.

34. Shulov, V.A., Engel'ko, V.I., Gromov, A.N., Teryaev, D.A. & Bycenko, O.A. (2013). Application of intense pulsed electronbeams for repair and property recovery of turbine blades with perforate holes. *Hardening technologies and coatings* [Translated by author of the article, 10(106), 23-25. (In Russ.).

35. Shulov, V. A., Gromov, A. N., Teryaev, D. A. & Engel'ko, V. I. (2015). Application of high-current pulsed electron beams to modify the surface of gas turbine engine blades (review) [Translated by author of the article]. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, (1), 38-48. (In Russ.). doi 10.17073/1997-308X-2015-1-38-48.

36. Hajrulin, V.T., Samohvalov, N.Yu., Tihonov, A.S. & Sendyurev, S.I. (2014). Evaluation of blade roughness influence on high pressure turbine efficiency. *Bulletin of the Perm National Polytechnic University. Aerospace engineering* [Translated by author of the article], (37), 99-111. (In Russ.).

**Information about the authors**

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*

*D. V. Komarov – postgraduate student of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science, Samara National Research University; Leading Engineer Engineering and technical center-branch of Gazprom transgaz Samara LLC.*

*S. V. Kononov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the ONIL-4 Laboratory of the Samara National Research University, Vice-Rector for Research and Innovation, Siberian State Industrial University.*

*D. V. Zhukov – postgraduate student of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science, Samara National Research University; Leading Head of the Group Engineering and technical center-branch of Gazprom transgaz Samara LLC.*

*I. S. Vinogradov – Head of the Engineering and technical center-branch of Gazprom transgaz Samara LLC.*

*I. A. Panchenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Quality Management and Innovation, Head of the Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing of the Siberian State Industrial University.*





Обзорная статья  
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)  
УДК 678

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.029



## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛИТНОГО МАТЕРИАЛА

Ольга Сергеевна Беушева <sup>1</sup>, Наталья Владимировна Коренева <sup>2</sup>,  
Александр Анатольевич Беушев <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

<sup>1</sup> baa7@list.ru

<sup>2</sup> baa7@list.ru

<sup>3</sup> baa7@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0233-3805>

**Аннотация:** Сегодня ни одно, даже самое крупное, предприятие в области деревообрабатывающей и лесозаготовительной промышленности не использует древесину на 100 %. Отходы в виде щепы, опилок, стружки, спилов представляют собой ценный сырьевой ресурс, который можно применять для дальнейшего использования. Проблема комплексной переработки древесины в деревообрабатывающей промышленности существует с момента развития этой отрасли и остро обозначена в наше время. В статье мы предлагаем один из способов решения данной проблемы. Рассмотрена возможность получения плитного материала, изготовленного из отходов различных пород древесины. Показано влияние структуры хвойных и лиственных пород дерева на эксплуатационные показатели плитного материала. Изучено влияние давления прессования на примере самой мягкой породы дерева - тополя.

**Ключевые слова:** древесина, гидротермическая обработка, плитный материал, хвойная и лиственная порода.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России на создание и развитие инжинирингового центра в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты».

---

**Для цитирования:** Беушева О. С., Коренева Н. В., Беушев А. А. Изучение влияния морфологической структуры древесины на эксплуатационные характеристики плитного материала // Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 216 – 221. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.029. EDN: <https://elibrary.ru/tyortx>.

---

Original article

## STUDY OF THE INFLUENCE OF MORPHOLOGICAL STRUCTURE WOOD FOR OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE SLAB MATERIAL

Olga S. Beusheva<sup>1</sup>, Natalia V. Koreneva<sup>2</sup>,  
Alexander A. Beushev<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> baa7@list.ru

<sup>2</sup> baa7@list.ru

<sup>3</sup> baa7@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0233-3805>

**Abstract:** Today, not a single, even the largest, enterprise in the field of woodworking and logging industry uses 100 % wood. Waste in the form of chips, sawdust, shavings, cuts are a valuable raw material resource that can be used for further use. The problem of complex processing of wood in the woodworking industry has existed since the development of this industry and is acutely marked in our time. In the article we propose one of the ways to solve this problem. The possibility of obtaining a slab material made from waste of various types of wood is considered. The influence of the structure of coniferous and deciduous wood species on the performance of the slab material is shown. The influence of pressing pressure is studied on the example of the softest wood species - poplar.

**Keywords:** wood, hydrothermal treatment, slab material, coniferous and deciduous species.

**Acknowledgements:** The research was carried out with the support of a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the creation and development of an engineering center within the framework of the federal project "Development of infrastructure for Research and Training" of the national project "Science and Universities".

---

**For citation:** Beusheva, O. S., Koreneva N. V., Beushev A. A. (2022). Study of the influence of morphological structure wood for operational characteristics of the slab material. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 216-221. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.029.

---

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время развитие технологий ресурсосбережения одна из актуальных задач в любой отрасли промышленности. Особо остро она стоит перед деревообрабатывающими производствами, которые нуждаются в рациональном использовании материалов. Большая часть деревообрабатывающих заводов после окончания реализации производства оставляет до 40 % неиспользуемого сырья.

В крупных городах представляет проблему утилизация древесных отходов, образующихся при санитарной рубке деревьев в процессе ухода за насаждениями на улицах, скверах, парках.

В нашей работе мы рассматриваем возможность решения проблемы утилизации отходов древесины путем получения плитных материалов из различных видов отходов, независимо от породы дерева.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходного объекта для исследований были использованы опилки дре-

весины лиственных и хвойных пород: тополя, дуба, лиственницы, ели. Исходный материал предварительно активировали путем обработки опилок водяным паром под давлением.

Предварительная активация исходной древесины необходима, во-первых, для лучшего и глубокого заполнения пустых каналов древесины водой, что способствует увеличению скорости нагрева. Во-вторых, в процессе активации древесина набухает, становится более рыхлой по своей структуре, что позволяет пару проникнуть более глубоко и равномерно обработать весь исходный материал [1].

Древесина лиственных и хвойных пород отличается по своей морфологической структуре. А, следовательно, и активация исходного материала, в зависимости от породы дерева, будет протекать по-разному. Так в древесине лиственных пород намного больше различных сосудов и каналов, которые обеспечивают более глубокий и однородный доступ воды по всему объему исходного материала. В древесине хвойных пород присутствуют, так называемые, смоляные ходы, которые наоборот препятствуют проникновению воды [2].

Химический состав исходного материала представлен в таблице 1.

Исходный материал в виде опилок и щепы древесины лиственница, ели, тополя и дуба подвергался гидротермическому воздействию в течение 10 минут. Температура обработки 220 °С [3].

В результате гидротермической обра-

ботки исходная древесина разрушается до отдельных волокон, представляя собой более темный по цвету продукт, по сравнению с исходной древесиной. Из высушенного при комнатной температуре продукта изготавливались плитные материалы путем горячего прессования.

Таблица 1 – Химический состав исходной древесины

Table 1 – Chemical composition of the source wood

Наименование породы древесины	Состав исходной древесины, %		
	Целлюлоза	Лигнин	Легкогидролизуемые полисахариды
Лиственница	46,6	30,5	22,9
Ель	53,0	31,9	15,1
Тополь	52,1	23,8	24,1
Дуб	49,7	25,1	25,2

В таблице 2 представлен химический состав древесин разных пород после гидротермической обработки.

При анализе таблицы вопрос вызывает большое количество целлюлозы и низкое количество лигнина в древесине ели, тополя и дуба по сравнению с древесиной лиственницы. Для ответа на этот вопрос были сделаны ИК-спектры целлюлозы всех представленных пород древесины. В работе представлен ИК-

спектр целлюлозы тополя (рисунок 1). На нем хорошо просматриваются пики в области поглощения ароматических соединений. Можно предположить, что в процессе гидротермической обработки лигнин конденсируется с целлюлозой и при анализе пресс-массы на содержание целлюлозы определяется вместе с ней. Это в свою очередь и отражается на увеличенном выходе целлюлозы ели, тополя и дуба [4, 5, 6].

Таблица 2 – Химический состав различных пород после гидротермической обработки

Table 2 – Chemical composition of various rocks after hydrothermal treatment

Наименование породы древесины	Химический состав обработанной древесины, %			
	Целлюлоза	Лигнин	Легко – гидролизуемые полисахариды	Редуцирующие вещества после обработки
Лиственница	45,3	36,6	2,7	15,4
Ель	63,2	19,1	3,1	14,6
Тополь	61,9	15,2	4,2	18,7
Дуб	64,7	15,0	4,3	16,0

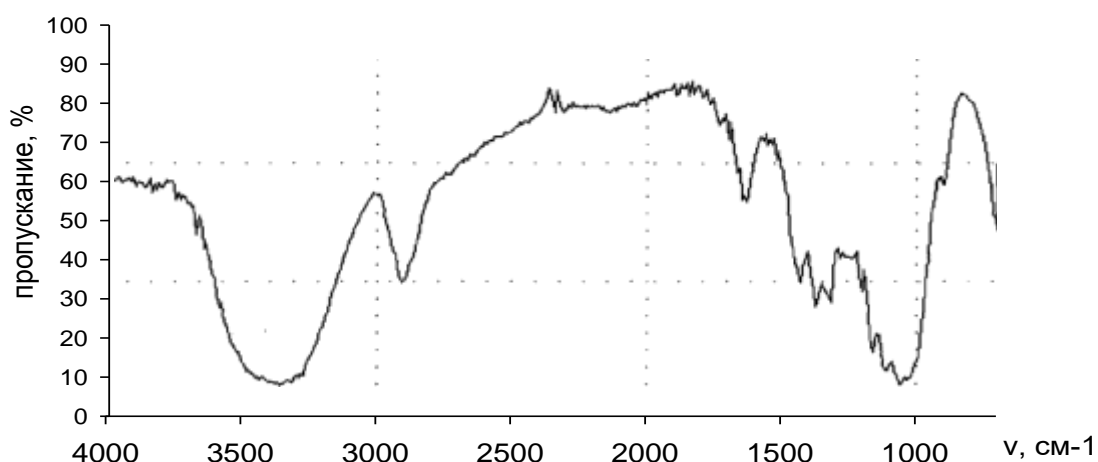


Рисунок 1 – ИК-спектр целлюлозы, полученной из гидротермически обработанной древесины тополя

Figure 1 – IR spectrum of cellulose obtained from hydrothermally treated poplar wood

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛИТНОГО МАТЕРИАЛА

Плитный материал, полученный из гидротермически обработанной древесины лиственницы, ели, тополя и дуба, исследовали на важнейшие эксплуатационные характеристики: плотность, прочность, набухание, водопоглощение. Результаты представлены в таблице 3. Из таблицы видно, что по прочностным показателям плитные материалы, изготовленные на основе древесины тополя, значительно уступают.

Известно, что прочность плитного материала зависит от количества связующих веществ, которые образуются в процессе гидротермической обработки древесины. В таблице 2 они обозначены как редуцирующие вещества. По результатам исследований можно было спрогнозировать наиболее высокие прочностные показатели у плитного материала, изготовленного из древесины тополя, так как количество редуцирующих веществ в ее составе наибольшее и составляет 18,7 % [7].

Процесс изготовления всех плитных материалов протекал при температуре 140 °С и давлении равном 5,2 МПа. Поэтому влияние технологических параметров во время прессования мы исключаем. Низкую прочность

плит, изготовленных из древесины тополя мы связываем с его морфологическим строением. Древесина лиственных и хвойных пород отличается по своему строению. Морфологическая структура древесины хвойных пород более упорядочена по сравнению с древесиной лиственных пород. В составе древесины лиственных пород присутствуют такие элементы как сосуды и каналы. Их наличие увеличивает свободный объем, что также может повлиять на прочностные показатели плитных материалов. Низкую прочность материала, изготовленного из древесины тополя можно объяснить его низкой исходной плотностью, которая составляет всего 430 кг/м<sup>3</sup>. Так как плотность прямопропорционально связана с прочностью, то и плитные материалы закономерно имеют низкую прочность. Плитные материалы, полученные из древесины дуба с плотностью 640 кг/м<sup>3</sup>, не уступают по прочности плитам, изготовленным из древесины хвойных пород. Для подтверждения наших выводов мы увеличили давление в процессе прессования плитных материалов на основе древесины тополя (таблица 4) [8, 9, 10].

Таблица 3 – Эксплуатационные характеристики плитных материалов, полученных из гидротермически обработанной древесины

Table 3 – Performance characteristics of composite materials obtained from hydrothermally treated wood

Наименование породы дерева	Прочность при изгибе, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Набухание, %	Водопоглощение, %	Плотность исходной древесины, кг/м <sup>3</sup>
Лиственница	32,3	1339	4	5	630
Ель	30,2	1387	6	7	470
Тополь	16,9	1045	17	19	430
Дуб	31,5	1412	6	8	640

Таблица 4 – Влияние давления прессования на физико-механические характеристики плитных материалов, полученных из гидротермически обработанной древесины тополя

Table 4 – Effect of pressing pressure on the physical and mechanical characteristics of slab materials obtained from hydrothermally treated poplar wood

Давление прессования, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
5,2	16,9	1045
6,5	32,5	1451
7,8	35,9	1463

Из таблицы 4 видно, что прочностные показатели плитного материала значительно возрастают при увеличении давления в процессе горячего прессования. При воздей-

ствии на материал большим давлением, уменьшается его свободный объем и как следствие увеличивается плотность.

На эксплуатационные характеристики плит влияет и размер исходного сырья. Исследования проводились на примере древесины лиственницы (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние размера исходного сырья на эксплуатационные характеристики плит  
Table 5 – The effect of the size of the feedstock on the performance characteristics of the plates

Размер исходного сырья	Прочность при изгибе, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Набухание, %	Водопоглощение, %
Щепа	41,0	1247	6	7
Стружка	34,7	1312	4	5
Фракция	32,3	1339	4	5

Из таблицы 5 видно, что при уменьшении длины волокон прочность плитных материалов также уменьшается, несмотря на то, что их плотность возрастает. Целлюлоза (волокна) является армирующим материалом в композитах. Их прочность во многом будет определяться силой адгезии между волокнами. Как известно, адгезия будет тем выше, чем больше площадь соприкосновения между волокнами, а соответственно, чем больше размер самих волокон.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для увеличения эффективности гидротермической обработки древесины необходима предварительная пропитка водой, а это значит, что степень пропитки будет зависеть от морфологии древесины. Чем выше плотность исходной древесины, тем ниже качество пропитки. Для достижения максимальных результатов пропитки необходимо ее увеличение.

В результате проведенных исследований установлено, что

- плитные материалы из древесины хвойных пород имеют более высокие прочностные свойства;
- из древесины лиственных пород дуб обладает наилучшими прочностными показателями;
- гидрофобные свойства не зависят от породы древесины, а определяются плотностью плитных материалов.
- с увеличением давления прессования эксплуатационные показатели плитных материалов на основе активированной древесины тополя возрастают;
- с уменьшением размера исходного сырья прочность снижается, а гидрофобные показатели увеличиваются.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высокотемпературный автогидролиз древесины. / А.Г. Полманис, Д.А. Калейне, П.П. Эриньш // Химия древесины. 1990. № 3. С.123 - 127.

2. Пен Р.З. Технология древесной массы: учеб. пособие для вузов. Красноярск : КГТА, 1997. 220 с.

3. Беушева О.С., Мусько Н.П., Чемерис М.М. Влияние параметров взрывного автогидролиза на физико-механические показатели плитных материалов на основе древесины лиственницы // Известия высших учебных заведений. Строительство, № 5, 2006. С.31 – 34.

4. Биокompозитная структура клеточных оболочек древесины и её разрушение взрывным автогидролизом / Я.А. Гравитис, Р.Э. Тэзаяр, У.Л. Каллаус, Б.А. Андерсонс В.Г. Озоль-Калнин, А.Г. Кокоревич, П.П. Эриньш, Г.П. Веверис // Механика композитных материалов. 1986. № 6. С.1039-1042.

5. Домбург Г.Э., Шарапова Т.Е. Исследования компонентов древесины в процессе ее термической обработки. // Химия древесины. 1984. № 1. С. 77 – 82.

6. Казицина Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ, ИК, ЯМР и масс-спектропии в органической химии. // М.: Изд-во Московского университета. 1979. 240 с.

7. Беушева О.С., Мусько Н.П., Чемерис М.М. Роль легкогидролизуемых полисахаридов древесины лиственницы в процессе изготовления плитных материалов // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. Вып. 2. С.340 – 342.

8. Беушева О.С., Мусько Н.П., Чемерис М.М. Влияние условий прессования на свойства плитных материалов изготовленных из гидротермически обработанной древесины лиственницы // Известия высших учебных заведений. Строительство, № 5, 2006. С.48 – 51.

9. Беушева О.С., Мусько Н.П., Чемерис М.М. Влияние активации компонентов древесины на свойства плитных материалов // Химия, химическая технология и биотехнология на рубеже тысячелетий: материалы IV Международной научной конференции. Томск: изд-во ТПУ, 2006, Т 1. С.198 – 200.

10. Никитин В.М. О роли гемицеллюлоз в процессе сульфитной делигнификации древесины // Химия древесины. 1971. № 8. С.79-81.

### Информация об авторах

О. С. Беушева – к.т.н., доцент кафедры «Химическая технология» Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова.

Н. В. Коренева – к.х.н., старший преподаватель  
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2022

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛИТНОГО МАТЕРИАЛА

даватель кафедры «Химическая технология» Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова.

А. А. Беушев – к.х.н., доцент кафедры «Химическая технология» Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова.

### REFERENCES

1. Polmanis, A.G., Kalejne, D.A. & Erin'sh, P.P. (1990). Vysokotemperaturnyj avtogidroliz drevesiny. *Himiya drevesiny*. (3), 123 - 127. (In Russ.).
2. Pen, R.Z. (1997). *Tekhnologiya drevesnoj massy: ucheb. posobie dlya vuzov*. Krasnoyarsk : KGTA. (In Russ.).
3. Beusheva, O.S., Mus'ko, N.P. & CHemeris M.M. (2006). Vliyanie parametrov vzryvnogo avtogidroliza na fiziko-mekhanicheskie pokazateli plitnyh materialov na osnove drevesiny listvennicy. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*, (5), 31 – 34. (In Russ.).
4. Gravitis, YA.A., Teeyaer, R.E., Kallavus, U.L., Andersons, B.A., Ozol'Kalnin, V.G., Kokorevich, A.G., Erin'sh, P.P. & Veveris, G.P. (1986). Biokompozitnaya struktura kletочnyh obolochek drevesiny i eyo razrushenie vzryvnym avtogidrolizom. *Mekhanika kompozitnyh materialov*. (6). 1039-1042. (In Russ.).
5. Domburg, G.E. & Sharapova, T.E. (1984). Issledovaniya komponentov drevesiny v processe ee termicheskoj obrabotki. *Himiya drevesiny*. (1). 77 – 82. (In Russ.).
6. Kazicina. L.A. & Kupletskaya, N.B. (1979). Primenenie UF, IK, YAMR i mass-spektroskopii v organicheskoj himii. M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta. (In Russ.).

7. Beusheva, O.S., Mus'ko, N.P. & CHemeris, M.M. (2006). Rol' legkogidrolizuemyh polisaharidov dreve-siny listvennicy v processe izgotovleniya plitnyh materialov. *ZHurnal prikladnoj himii*. 79(2).340 – 342. (In Russ.).

8. Beusheva, O.S., Mus'ko, N.P. & CHemeris, M.M. (2006). Vliyanie uslovij pressovaniya na svoystva plitnyh materialov izgotovlennyh iz gidrotermicheski obrabotannoj drevesiny listvennicy. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*, (5), 48 – 51. (In Russ.).

9. Beusheva, O.S., Mus'ko, N.P. & CHemeris, M.M. (2006). Vliyanie aktivacii komponentov drevesiny na svoystva plitnyh materialov. *Himiya, himiche-skaya tekhnologiya i biotekhnologiya na rubezhe tysyacheletij: materialy IV Mezhdunarodnoj nauch-noj konferencii*. Tomsk: izd-vo TPU, (1), 198 – 200. (In Russ.).

10. Nikitin, V.M. (1971). O roli gemicellyuloz v processe sul'fitnoj delignifikacii drevesiny. *Himiya drevesiny*. (8). 79-81. (In Russ.).

### Information about the authors

O. S. Beusheva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of the Polzunov Altai State Technical University.

N. V. Koreneva - Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Chemical Technology of the Polzunov Altai State Technical University.

A. A. Beushev – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of "Chemical Technology" of the Polzunov Altai State Technical University.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*



## ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА, НА ХИМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Елена Михайловна Готлиб <sup>1</sup>, Екатерина Сергеевна Ямалеева <sup>2</sup>,  
Алина Равилевна Валеева <sup>3</sup>, Альмира Рамазановна Гимранова <sup>4</sup>,  
Рют Шельтон Нцуму <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 5</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия  
<sup>3, 4</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева  
– КАИ, Казань, Россия

<sup>1</sup> egotlib@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

<sup>2</sup> curls888@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

<sup>3</sup> alina.valeeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9159-7863>

<sup>4</sup> miracle543543@mail.ru

<sup>5</sup> david\_schelton@mail.ru

**Аннотация.** В условиях эксплуатации эпоксидные материалы часто подвергаются воздействию агрессивных сред, наиболее типичными из которых является вода, водные растворы кислот, щелочей и солей. Эти агрессивные среды имеют малый размер молекул, что позволяет им проникать в дефектные зоны сетчатой структуры, а также в поровое пространство используемых наполнителей. Перспективными наполнителями эпоксидных полимеров являются продукты переработки рисовой и гречневой шелухи, которые существенно улучшают комплекс основных эксплуатационных свойств материалов и являются крупнотоннажными растительными отходами сельского хозяйства. Установлено, что независимо от типа применяемого растительного наполнителя, вида агрессивных жидкостей и времени испытаний имеет место закономерное увеличение массы образцов эпоксидных материалов. Наполнение эпоксидных композитов гречневой и рисовой шелухой обуславливает увеличение их набухания во всех исследованных агрессивных жидкостях, по сравнению с базовым составом.

Применение в качестве наполнителя золы гречневой шелухи снижает устойчивость эпоксидных материалов во всех исследованных агрессивных средах, вследствие уменьшения густоты их пространственной сетки. Этот эффект увеличивается с ростом температуры получения золы, из-за повышения при этом ее пористости. Применение в качестве наполнителя золы рисовой шелухи обуславливает большую химстойкость эпоксидных материалов, чем наполнение золой шелухи гречки. Наименьшее набухание эпоксидных материалов имеет место при применении в качестве наполнителя золы рисовой шелухи, полученной при 500 °С. Это связано с ее относительно меньшей пористостью, отсутствием пор больших размеров (макропор) и не высоким содержанием органической фазы.

Таким образом, устойчивость в агрессивных средах наполненных эпоксидных материалов зависит от густоты их пространственной сетки, объема и размера пор применяемых наполнителей и содержания в их составе органической фазы.

**Ключевые слова:** эпоксидные полимеры, химическая стойкость, рисовая и гречневая шелуха, зола, пористость, гель фракция.

---

**Для цитирования:** Влияние наполнителей, полученных на основе отходов переработки зерна, на химическую стойкость эпоксидных материалов / Е. М. Готлиб [и др.] // Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 222 – 229. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.030. EDN: <https://elibrary.ru/tytoqq>.

---

Original article

## INFLUENCE OF FILLERS PRODUCED ON THE BASIS OF GRAIN PROCESSING WASTE ON THE CHEMICAL RESISTANCE OF EPOXY MATERIALS

Elena M. Gotlib, Ekaterina S. Yamaleeva, Alina R. Valeeva,  
Almira R. Gimranova, Rut Sh. Ntsoumou

<sup>1, 2, 5</sup> Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

<sup>3, 4</sup> Kazan National Research Technical University. A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

<sup>1</sup> egotlib@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

<sup>2</sup> curls888@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

<sup>3</sup> alina.valeeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9159-7863>

<sup>4</sup> miracle543543@mail.ru

<sup>5</sup> david\_schelton@mail.ru

**Abstract.** Epoxy materials are often in operating conditions exposed to aggressive media, the most typical of which are water, aqueous solutions of acids, alkalis and salts. These aggressive media have a small size of molecules, which allows them to penetrate into the defective zones of the network structure, as well as into the pore space of the fillers used. Promising fillers for epoxy polymers are products of processing of rice and buckwheat husks, which significantly improve the complex of basic operational properties of materials and are large-tonnage vegetable waste from agriculture. It has been established that regardless of the type of vegetable filler used, the type of aggressive liquids and the test time, there is a natural increase in the mass of samples of epoxy materials. The filling of epoxy composites with buckwheat and rice husks leads to an increase in their swelling in all studied aggressive liquids compared to the base composition.

The use of buckwheat husk as an ash filler reduces the stability of epoxy materials in all studied aggressive environments, due to a decrease in the density of their spatial network. This effect increases with increasing ash production temperature, due to an increase in its porosity. The use of rice husk ash as a filler causes greater chemical resistance of epoxy materials than the filling of buckwheat husk ash. The least swelling of epoxy materials occurs when rice husk ash obtained at 500 °C are used as filler. This is due to its relatively lower porosity, the absence of large pores (macropores) and the low content of the organic phase. Thus, the stability of filled epoxy materials in aggressive environments depends on the density of their network structure, the volume and pore size of the fillers used, and the content of the organic phase in their composition.

**Keywords:** epoxy polymers, chemical resistance, rice and buckwheat husk, ash, porosity, gel fraction.

**For citation:** Gotlib, E. M., Yamaleeva, E.S., Valeeva, A. R., Gimranova, A. R. & Ntsoumou, R. Sh. (2022). Influence of fillers produced on the basis of grain processing waste on the chemical resistance of epoxy materials. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 222-229. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.030.

### ВВЕДЕНИЕ

Эпоксидные смолы часто используются в качестве основы антикоррозионных покрытий, поэтому изучение устойчивости эпоксидных композиций к действию агрессивных сред представляет научный и практический интерес [1]. Наиболее типичными агрессивными средами, контактирующими с эпоксидными материалами в условиях их эксплуатации, являются вода, водные растворы кислот, ще-

лочей и солей. Эти жидкости имеют малый размер молекул, атомов и ионов, что позволяет им проникать в дефектные зоны сетчатой структуры, а также в поровое пространство используемых наполнителей [2].

Композиционные полимерные материалы в большинстве случаев содержат дисперсные или армирующие наполнители. В качестве их перспективно использовать крупнотоннажные отходы, например, продукты переработки зерна в крупу, применение ко-



торых находится в русле развития «зеленой химии» и циркуляционной экономики. Так, зола рисовой и гречневой шелухи представляет интерес в качестве наполнителя эпоксидных полимеров, так как эти отходы сельского хозяйства содержат оксиды кремния и щелочных металлов [3,4].

Наполнение эпоксидных композиций золой рисовой и гречневой шелухи позволяет существенно улучшить комплекс их основных эксплуатационных свойств, таких как твердость, износостойкость и адгезионная прочность [5-9], что делает важной оценку влияния этих наполнителей на химическую стойкость.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эпоксидные композиции получали на основе диановой смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), отверждаемой аминоалкилфенолом АФ-2 (ТУ 2494-052-00205423-2004) при комнатной температуре в течение 7 суток. Содержание отвердителя определялось эквимольным соотношением [эпоксигруппы]:[амин].

В качестве наполнителей изучались рисовая (РШ) и гречневая (ГШ) шелуха и их зола, полученная при различных температурах сжигания 350 °С (ЗРШ<sub>1</sub> и ЗГШ<sub>1</sub>), 500 °С (ЗРШ<sub>2</sub> и ЗГШ<sub>2</sub>) и 800 °С (ЗРШ<sub>3</sub> и ЗГШ<sub>3</sub>), соответственно.

Площадь удельной поверхности пор определялась по методу БЭТ ISO 9277, объем пор по методу ВЖН на анализаторе площади поверхности и размера пор «Nova 1200e» ISO 15901-2.

Определение стойкости к действию агрессивных сред проводилось по ГОСТ 12020-2018. Температуры испытания 23±2 °С. Время выдержки образцов в испытательной жидкости составило: 3 и 7 суток. Для каждого показателя вычисляли среднеарифметическое значение результатов трех испытаний образцов, взятых от одной и той же выборки.

Золь-гель анализ проводился методом экстракции кипящим ацетоном в аппарате Сокслета в течение 6 часов. Для определения изменения массы, образцы высушивались до ее постоянного значения (ГОСТ 18694-80).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Химическое сопротивление композиционных материалов, как известно [1], зависит от нескольких факторов: вида и концентрации агрессивной среды, времени ее воздействия и температуры, структуры и степени поперечного сшивания сетчатого полимера, типа наполнителя и др.

При исследовании химической стойкости материалов большое распространение получил метод, основанный на изучении изменения массы образцов под действием жидких агрессивных сред [1,2].

Установлено, что независимо от типа применяемого растительного наполнителя, вида агрессивных жидкостей и времени испытаний имеет место закономерное увеличение массы образцов эпоксидных материалов, величина которого определяется вышеперечисленными факторами (рис.1-6).

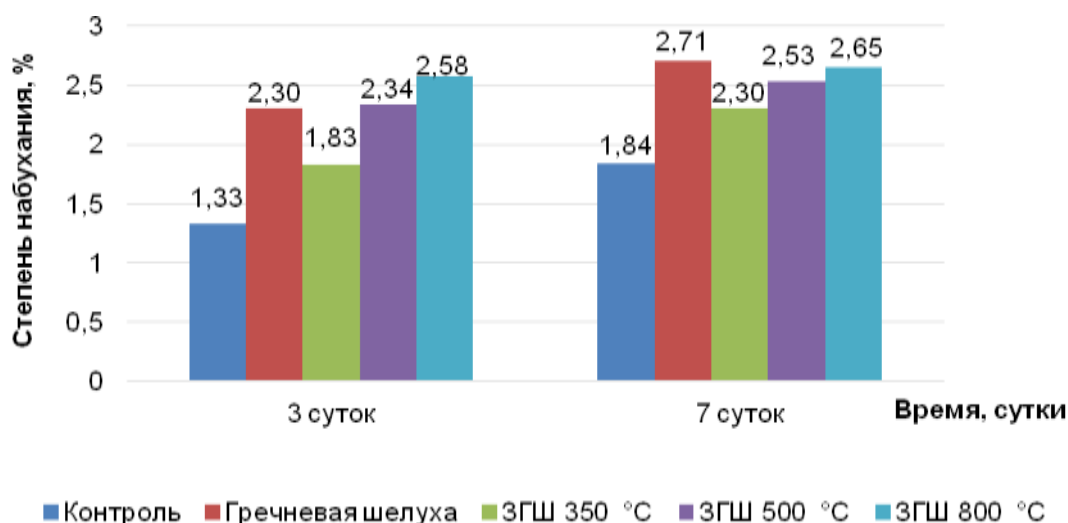


Рисунок 1 – Изменение в результате экспозиции в 5 % растворе NaCl массы эпоксидных композиций, наполненных гречневой шелухой и ее золой, полученной при различных температурах

Figure 1 – Change in the mass of epoxy compositions filled with buckwheat husk and its ash obtained at different temperatures as a result of exposure to a 5 % NaCl solution

## ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА, НА ХИМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Степень набухания закономерно растет с увеличением времени экспозиции образцов в агрессивных средах (рис.1-6), что указывает алами.

на сорбцию их исследованными эпоксидными матери

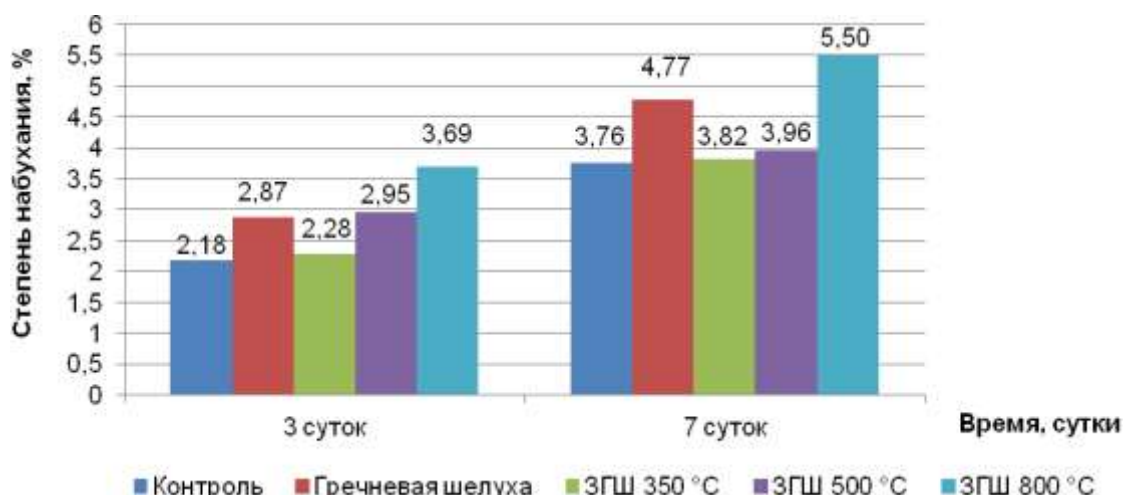


Рисунок 2 – Изменение в результате экспозиции в воде массы эпоксидных композиций, наполненных гречневой шелухой и ее золой, полученной при различных температурах

Figure 2 – Change in the mass of epoxy compositions filled with buckwheat husk and its ash obtained at different temperatures as a result of exposure to water

При наполнении эпоксидных композитов гречневой и рисовой шелухой происходит увеличение их массопоглощения во всех исследованных агрессивных жидкостях, по сравнению с базовым составом (рис.1-6). Это связано с относительно большим содержанием в этих наполнителях органической фазы [3,7], состоящей из производных целлюлозы,

которые характеризуются высоким водопоглощением [10].

В случае применения в качестве наполнителя золы ГШ, не зависимо от температуры ее получения, рост массы эпоксидных композиций выше, чем у не наполненного полимера (рис.1-3), то есть устойчивость в исследованных агрессивных средах уменьшается.



Рисунок 3 – Изменение массы эпоксидных композиций, наполненных ГШ и ее золой, полученной при различных температурах, в результате экспозиции в 5 % растворе серной кислоты

Figure 3 – Change in the mass of epoxy compositions filled with buckwheat husk and its ash obtained at different temperatures as a result of exposure to a 5 % sulfuric acid solution

С увеличением температуры получения ЗГШ набухание наполненных ей эпоксидных композиций во всех исследованных агрессивных средах закономерно растет (рис.1-3). Мы связываем это с повышением пористости

данного отхода пищевой промышленности (табл.1).

Таким образом, применение ЗГШ в качестве наполнителя эпоксидных материалов антикоррозионного назначения является не рациональным.

Таблица 1– Содержание гель-фракции наполненных эпоксидных композиций и пористость применяемых наполнителей

Table1 – The content of the gel fraction of filled epoxy compositions and the porosity of the fillers used

Тип наполнителя	Удельная поверхность пор по БЭТ, м <sup>2</sup> /г	Содержание гель-фракции, %
Контроль	-	84,58
ГШ	0,080	72,67
ЗГШ <sub>1</sub>	0,719	74,64
ЗГШ <sub>2</sub>	1,045	77,64
ЗГШ <sub>3</sub>	3,564	79,52
РШ	0,6	75,58
ЗРШ <sub>1</sub>	48,9	86,10
ЗРШ <sub>2</sub>	27,9	92,22
ЗРШ <sub>3</sub>	10,3	87,40

Зависимость химстойкости эпоксидных материалов, наполненных золой рисовой

шелухи, от температуры ее получения отличается от случая применения золы шелухи гречки (рис.1-6).

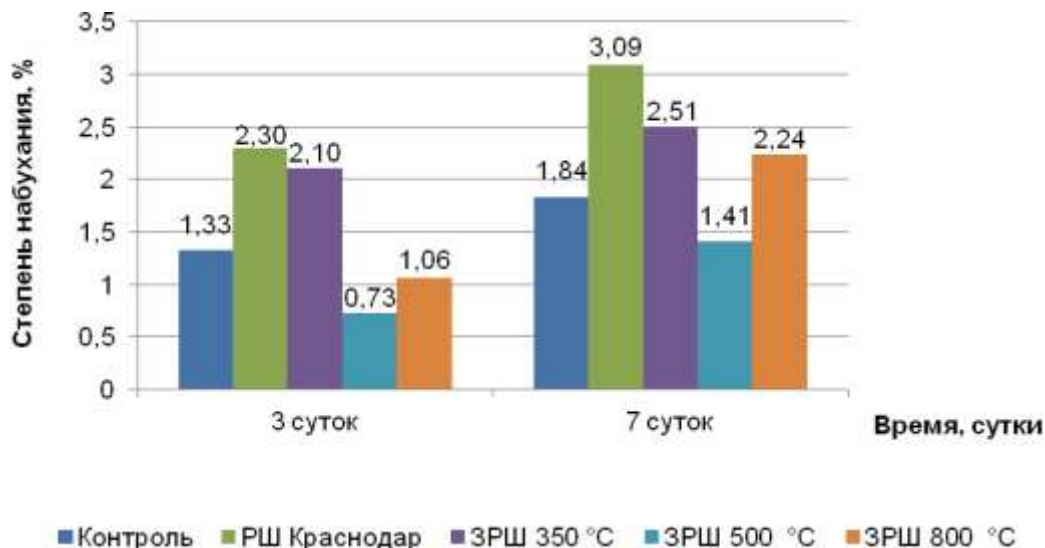


Рисунок 4 – Изменение в результате экспозиции в 5 % растворе NaCl массы эпоксидных композиций, наполненных рисовой шелухой и ее золой, полученной при различных температурах

Figure 4 - Change in the mass of epoxy compositions filled with rice husk and its ash obtained at different temperatures as a result of exposure to a 5 % NaCl solution

Так, массопоглощение воды и 5 % растворов серной кислоты и хлористого натрия эпоксидными композициями, наполненными

ЗРШ, экстремально зависят от температуры получения золы.

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА, НА ХИМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

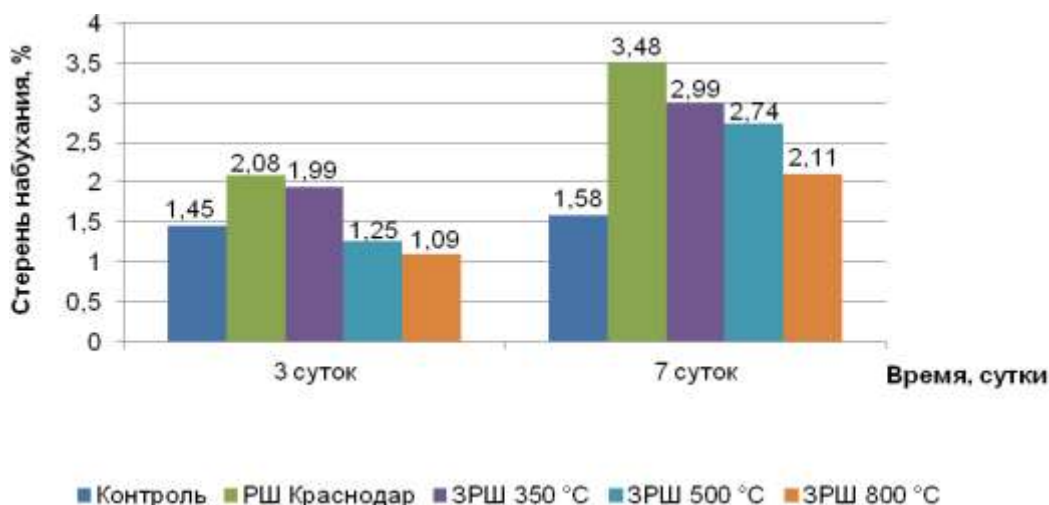


Рисунок 5 – Изменение в результате экспозиции в 5 % растворе серной кислоты массы эпоксидных композиций, наполненных рисовой шелухой и ее золой, полученной при различных температурах

Figure 5 – Change in the mass of epoxy compositions filled with rice husk and its ash obtained at different temperatures as a result of exposure to a 5 % sulfuric acid solution

При этом, наименьшее набухание эпоксидных материалов имеет место при применении в качестве наполнителя ЗРШ, полученной при 500 °С (рис.4-6). Это можно объяснить сочетанием нескольких факторов: меньшей пористостью (табл. 1) и более низким содержанием органической фазы у ЗРШ<sub>2</sub> по сравнению с золой, полученной при 350 °С [11].

Кроме того, несмотря на меньший общий объем пор и их средний диаметр у ЗРШ<sub>3</sub>, по сравнению с ЗРШ<sub>1</sub> и ЗРШ<sub>2</sub>, только у этого наполнителя, полученного при сжигании РШ при 800 °С, имеются поры с размерами более 40 нм (макропоры) [12]

Действительно, механизм набухания наполненных композиционных материалов в общем случае включает адсорбцию молекул агрессивных сред на поверхности материалов и диффузию их в объем композиции [13].

Последнее, согласно полученным нами экспериментальным данным, существенно зависит от характеристик пористости структуры применяемых наполнителей.

На основании этого, можно предположить важность оценки объема и размера пор при выборе наполнителей для композиционных материалов, эксплуатирующихся в контакте с агрессивными средами.

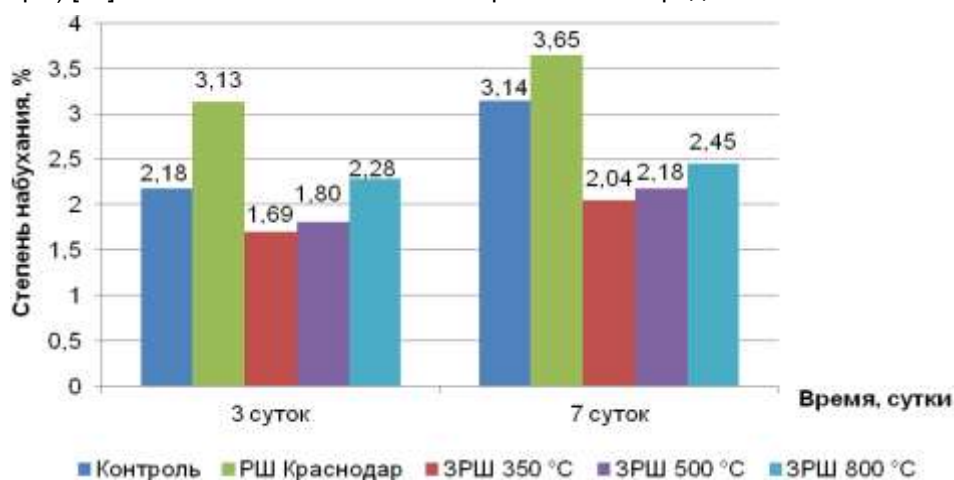


Рисунок 6 – Изменение в результате экспозиции в воде массы эпоксидных композиций, наполненных рисовой шелухой и ее золой, полученной при различных температурах

Figure 6 – Change in the mass of epoxy compositions filled with rice husk and its ash obtained at different temperatures as a result of exposure to a water

Набухание наполненных эпоксидных материалов, не зависимо от типа применяемого наполнителя, выше в воде, из-за меньшего размера ее молекул, из всех исследуемых агрессивных жидкостей.

При этом закономерности влияния на этот показатель шелухи гречки и риса и их золы имеют примерно одинаковый характер в воде, солевом и слабокислом растворах (рис.1-6).

В целом, применение в качестве наполнителя золы рисовой шелухи обуславливает большую химстойкость эпоксидных материалов, чем наполнение золой шелухи гречки.

Это обусловлено существенно большей степенью поперечного сшивания наполненных ЗРШ эпоксидных материалов, по сравнению с ЗГШ (табл.1). Свой вклад, очевидно, вносит и большая доля в составе ЗГШ калийсодержащих компонентов [14], в частности, хорошо растворимого в воде карбоната калия [15].

В тоже время, сама рисовая шелуха в большей степени снижает химическое сопротивление эпоксидных материалов, чем шелуха гречки (рис1-6). Возможно, это происходит из-за ее более высокой пористости [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наполнение гречневой шелухой и ее золой снижает устойчивость эпоксидных композиций к действию агрессивных сред, на что указывает увеличение степени их набухания. Это делает не рациональным использование ее в рецептуре композиционных материалов антикоррозионного назначения.

Зола рисовой шелухи, полученная при 500 °С, повышает химическое сопротивление эпоксидных композиций в воде и растворах кислот и солей. Это позволяет рекомендовать ее в качестве наполнителя эпоксидных покрытий, эксплуатирующихся в контакте с агрессивными жидкостями.

Химическая стойкость наполненных эпоксидных материалов зависит от густоты их пространственной сетки, удельной поверхности и размера пор, а также содержания органической фазы в составе применяемых наполнителей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хапёрских С.А., Ананьева Е.С. Влияние природы наполнителя на твердость и износ дисперсно-наполненных композиционных материалов на основе эпоксидно-дианового связующего // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 163–172.
2. Химическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, Ю.А. Соколова. М.: РААСН, 2001. 284 с.

3. Nwosu-Obieogu K., Chiemenem L., Adekunle K., Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication- A Review, American Journal of Materials Synthesis and Processing. Vol. 1, No. 3, 2016, pp. 32-36.

4. Новые наполнители эпоксидных компаундов на основе модифицированных целлюлозосодержащих отходов / В.В. Панкеев, А.В. Никифоров, Е.С. Свешникова, Л.Г. Панова // Пластические массы. 2012. № 5. С. 50-52.

5. Azadi M., Bahrololoom M.E., Heidari F. Enhancing the mechanical properties of an epoxy coating with rice husk ash, a green product Journal of Coatings Technology and Research, 2011, Volume 8, Issue 1, pp 117–123

6. Гаврилов М.А. Особо плотные эпоксидные композиты на основе отходов производства: монография. Пенза: ПГУАС, 2014. 132с.

7. Zemnukhova L.A., Shkorina E.D., Fedorishcheva G.A. Composition of inorganic components of buckwheat husk and straw // Russian Journal of Applied Chemistry. 2005. Vol. 78(2). P. 324-328. DOI: 10.1007/s11167-005-0284-1.

8. Agricultural By-Products as Advanced Raw Materials for Obtaining Modifiers and Fillers for Epoxy Materials / Е.М. Gotlib, Т.Н. Ha Phuong, Т.Л. А. Nguyen, Sokolova Alla, Е.С. Yamaleeva, I.N. Musin // Key Engineering Materials. 2019. Vol. 822. P. 343-349.

9. Готлиб Е.М., Валева А.Р., Ямалева Е.С., Нцуму Р.Ш. Изучение влияния температуры получения золы гречневой шелухи на антифрикционные свойства и износостойкость эпоксидных покрытий Бутлеровские сообщения, 2021, т.687, №12, с 70-76

10. Rojas O.J. Cellulose chemistry and properties: fibers, nanocelluloses and advanced materials / O. J. Rojas // Springer, 2016, V. 271. P. 67– 72.

11. Anti-friction epoxy coatings modified with rice husk / A.R. Valeeva [и др.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 3. P. 1-8.

12. Утилизация рисовой шелухи путем получения наполнителей на ее основе Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования / Е.М. Готлиб [и др.] // Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Изд-во: Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Белгород, 2020. С. 113-118. ISBN 978-5-361-00234-6.

13. Стойкость новых композиционных материалов / В.Н. Кириллов, В.А. Ефимов, В. В. Кривонос [и др.] // Авиационная промышленность. 2004. № 4. С. 44–47.

14. Włoch, M., & Landowska, P. Preparation and Properties of Thermoplastic Polyurethane Composites Filled with Powdered Buckwheat Husks. Materials. 2022, 15, 356. <https://doi.org/10.3390/ma15010356>.

15. Арефьев А.В, Подбородников И.В, Шацкий А.Ф., Литасов К.Д. Синтез и рамановские спектры двойных k-са карбонатов: K<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> бючлиита, фэйрчильдита и K<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> при 1 атм // Геохимия. 2019. Т.64. № 9. С.967-973. - ISSN 0016-7525.

## Информация об авторах

Е. М. Готлиб – доктор технических наук, профессор кафедры Технологии синтетического каучука, Казанского национального ис-

## ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА, НА ХИМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

следователъского технологического университета.

*Е. С. Ямалеева* - кандидат технических наук, доцент кафедры Медицинской инженерии, Казанского национального исследовательского технологического университета.

*А. Р. Валеева* – ассистент кафедры Материаловедения, сварки и производственной безопасности, аспирант 1-го курса кафедры Материаловедения, сварки и производственной безопасности, Казанского национального исследовательского технологического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

*А. Р. Гимранова* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Материаловедения, сварки и производственной безопасности, Казанского национального исследовательского технологического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

*Р. Ш. Нцуму* – аспирант 3-го курса кафедры Технологии синтетического каучука, Казанского национального исследовательского технологического университета.

### REFERENCES

1. Khaperskikh, S.A. & Ananyeva, E.S. (2021). Influence of the nature of the filler on the hard and wear of particulate-filled composite materials based on epoxy-diane binder. *Polzunovskiy Vestnik*. (4). 163–172. (In Russ.).
2. Solomatov, V.I., Selyaev, V.P. & Sokolov, Yu.A. (2001). Chemical resistance of materials [Text] / V.I. Solomatov. M.: RAASN. (In Russ.).
3. Nwosu-Obieogu, K., Chiemenem, L. & Adekunle, K. (2016). Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication- A Review. *American Journal of Materials Synthesis and Processing*. 1(3), 32-36.
4. Pankeev, V.V., Nikiforov, A. V., Sveshnikova, E. S. & Panova, L. G. (2012). New fillers for epoxy compounds based on modified cellulose-containing waste. *Plastic masses*. (5). 50-52. (In Russ.).
5. Azadi, M., Bahrololoom, M.E. & Heidari, F. (2011). Enhancing the mechanical properties of an epoxy coating with rice husk ash, a green product *Journal of Coatings Technology and Research*. 8(1), 117–123.
6. Gavrilo, M.A. (2014). Particularly dense epoxy composites based on production waste: monograph. Penza: PGUAS. (In Russ.).
7. Zemnukhova, L.A., Shkorina, E.D. & Fedorishcheva, G.A. (2005). Composition of inorganic components of buckwheat husk and straw // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 78(2). 324-328. DOI: 10.1007/s11167-005-0284-1.
8. Gottlib E.M. et. al. (2019). Agricultural By-Products as Advanced Raw Materials for Obtaining Modifiers and Fillers for Epoxy Materials. *Key Engineering Materials*. (822). 343-349.

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

*Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.*

*The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.*

9. Gottlib, E.M., Valeeva, A.R. Yamaleeva, E.S., & Ntsumu, R.Sh. (2021). Study of the influence of the temperature of obtaining buckwheat husk ash on the antifriction properties and wear resistance of epoxy coatings. *Butlerov communications*. 687(12), 70-76. (In Russ.).

10. Rojas, O. J. (2016). Cellulose chemistry and properties: fibers, nanocelluloses and advanced materials. Springer, (271), 67– 72.

11. Valeeva, A.R. et. al. (2020). Anti-friction epoxy coatings modified with rice husk. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. (3). 1-8.

12. Gottlieb, E.M. et. al. (2020). Utilization of rice husks by obtaining fillers based on it Security, protection and environmental protection: fundamental and applied research Collection of reports of the All-Russian Scientific Conference. Publishing house: Belgorod State Technological University V.G. Shukhov, Belgorod, 113-118. (In Russ.). ISBN 978-5-361-00234-6.

13. Kirillov, V. N. et. al. (2004). Durability of new composite materials. *Aviation industry*. (4), 44–47. (In Russ.).

14. Wloch, M., & Landowska, P. (2022). Preparation and Properties of Thermoplastic Polyurethane Composites Filled with Powdered Buckwheat Husks. *Materials*. (15), 356. <https://doi.org/10.3390/ma15010356>.

15. Arefiev, A.V., Podborodnikov, I.V., Shatsky, A.F. & Litasov K.D. (2019). Synthesis and Raman spectra of double k-ca carbonates:  $K_2Ca(CO_3)_2$  buchliite, fairchildite and  $K_2Ca(CO_3)_3$  at 1 atm. *Geochemistry*. 64(9). 967-973. ISSN 0016-7525. (In Russ.).

### Information about the authors

*E. M. Gottlieb* - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Synthetic Rubber Technology, Kazan National Research Technological University.

*E. S. Yamaleeva* - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Medical Engineering, Kazan National Research Technological University.

*A. R. Valeeva* - Assistant of the Department of Materials Science, Welding and Industrial Safety, 1st year postgraduate student of the Department of Materials Science, Welding and Industrial Safety, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

*A. R. Gimranova* - Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Materials Science, Welding and Industrial Safety, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

*R. Sh. Ntsumou* - 3rd year postgraduate student of the Department of Synthetic Rubber Technology, Kazan National Research Technologist.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Агеева Н. М.	22	Макарова Г.А.	65
Акинфеева А. В.	7	Маркин В. Б.	181
Александрова Л.Ю.	194	Маркова А.В.	194
Андреева А.	152	Мацкевич И. В.	186
Анисимова Л. В.	71	Мелёшкина Л.Е.	37
Арисов А. В.	108	Минаков Д. В.	173
Бараненко Д. А.	123	Минакова А. А.	173
Беушев А. А.	216	Михайлова О.Ю.	65
Беушева О. С.	216	Мозжерина И. В.	136
Болгова И. Н.	160	Мошинский А.И.	194
Болгова М. А.	160	Неверов В. Ю.	101
Буланов С. В.	166	Невзоров В. Н.	186
Вайтанис М. А.	81	Нициевская К. Н.	88
Валеева А. Р.	222	Новоселов А. Г.	117
Варивода А. А.	144	Ницуму Р. Ш.	222
Виноградов И. С.	204	Панченко И. А.	204
Волончук С. К.	88	Попов В. Г.	101, 136
Вяткин А. В.	108	Поспелов М. В.	22
Ганин П.Г.	194	Рзаева М. М.	28
Гимранова А. Р.	222	Романенко Д. В.	28
Готлиб Е. М.	222	Романцова К.Р.	37
Гуляева Ю. Н.	117	Романчиков С. А.	166
Дикалова Е. С.	14	Рубцова Л.Н.	194
Дроздова Т. А.	22	Руденко О. В.	144
Егорова Е. Ю.	7, 43	Санжаровская Н. С.	28
Ермошин Н. А.	166	Серебrenикова Е. С.	71
Жернякова А. В.	123	Сорокин В. В.	194
Жуков Д. В.	204	Станкевич С. В.	88
Захарова А.С.	95	Тамова М. Ю.	144
Иванов В. А.	130	Тарасов А. В.	50
Каменская Е. П.	14	Тарасов В. П.	50
Кашолкина Д. А.	160	Трофимова А. А.	101
Клейменова Н. Л.	160	Уразова Я. В.	173
Козубаева Л. А.	43, 58	Фибих Е. В.	130
Колесниченко М. Н.	14	Хашим М. А.	123
Комаров Д. В.	204	Ходырева З.Р.	81
Конева С.И.	95	Цыганок С. Н.	7
Коновалов С. В.	204	Чеботок Е. М.	108
Копылов М. В.	160	Чугунова О. В.	108
Коренева Н. В.	216	Шабунина М. В.	152
Кох Ж. А.	186	Шамкова Н. Т.	144
Кравцова Е. В.	117	Шелковская Н. К.	14
Кузнецов А. Ю.	117	Шимова Ю. С.	130
Кузьмин С. В.	136	Эминова Э. Р.	123
Кузьмина С. С.	43, 58	Яковлева Т. В.	144
Лис Е. В.	130	Ямалеева Е. С.	222
Лунёва О. Ф.	123		

## 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);

- 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.

## ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ:

Научная статья

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

УДК 533.9.07

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.001

# РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ ПЛАЗМОЙ

Имя Отчество Фамилия <sup>1</sup>, Имя Отчество Фамилия <sup>2</sup>,  
Имя Отчество Фамилия <sup>3</sup>, Имя Отчество Фамилия <sup>4</sup>,  
Имя Отчество Фамилия <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> moskalenko\_nu@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-97>

<sup>2</sup> tihonov\_75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-98>

<sup>3</sup> tihonov\_75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-17>

<sup>4</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности, Сергиев Посад, Россия, ccvictory@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6597-0492>

<sup>5</sup> Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия, ccvictory@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5889-91>

**Аннотация.** Целью исследования является разработка и оценка эффективности.....

**Ключевые слова:** низкотемпературная плазма атмосферного давления, холодная плазма, генератор плазмы, аргоновая плазма, мясо, срок хранения, микроорганизмы, бактерицидное действие.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (государственное задание № -40-01 от 21.02.2019; мнемокод 01-2019-03; номер темы FM-20203).

**Для цитирования:** Разработка устройства для увеличения продолжительности хранения пищевой продукции путем обработки низкотемпературной газовой плазмой / И. О. Фамилия и др. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 3-7. doi: 10.25712/ ASTU.2072-8921.2021.01.001.

Original article

## DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR INCREASING THE DURATION OF STORAGE OF FOOD PRODUCTS BY PROCESSING WITH LOW-TEMPERATURE GAS PLASMA

Imya O. Familiya<sup>1</sup>, Imya O. Familiya<sup>2</sup>, Imya O. Familiya<sup>3</sup>,  
Imya O. Familiya<sup>4</sup>, Imya O. Familiya<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> moskalenko\_nu@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-97>

<sup>2</sup> tihonov\_75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-98>

<sup>3</sup> tihonov\_75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-17>

<sup>4</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry, Sergiev Posad, Russia, ccvictory@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6597-04>

<sup>5</sup> V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia, ccvictory@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5889-91>

**Abstract.** The aim of the research is to develop and evaluate the effectiveness of the equipmen.....

**Keywords:** low-temperature atmospheric pressure plasma, cold plasma, plasma generator, argon plasma, meat, shelf life.

**Acknowledgements:** the work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (state task No. 05-60-01 of 21.03.2019; mнемocode 06-2019-01; topic number FM-203).

**For citation:** Familiya, I. O., Familiya, I. O., Familiya, I. O., Familiya, I. O. & Familiya, I. O. (2021). Development of a device for increasing the duration of storage of food products by processing with low-temperature gas plasma. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 3-7. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.001.

Пищевые продукты животного происхождения играют жизненно важную роль в питании человека благодаря своим сенсорным качествам и высокой пищевой ценности. Одной

из хорошо известных проблем таких продуктов является высокая скоропортящаяся способность и ограниченный срок хранения, если не применяются соответствующие методы консервирования или обработки.

Таблица 1 - Микробиологические показатели

Table 1 - Microbiological indicators of chilled

Группа	Наименование показателя			
	КМАФАнМ, не более, КОЕ/г	БГКП (количественные формы), не допускаются в массе продукта, г	Бактерии рода <i>Salmonella</i> , не допускаются в массе продукта, г	<i>Listeria monocytogenes</i> , не допускаются в массе продукта, г

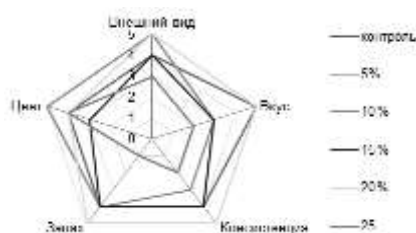


Рисунок 1 – Профиллограмма органолептической оценки

Figure 1-Organoleptic evaluation profile

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скурихин И.М. Тютельян В.А. Химический состав российских продуктов питания: Справочник. М.: ДеЛипринт, 2002. 236 с.
2. Лебедева, Н.Г., Борисова А.В. Разработка технологии приготовления супа-пюре с использованием различных способов тепловой обработки // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3. С. 148-153.

### Информация об авторах

*С. Л. Тихонов — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии Уральского государственного экономического университета.*

## REFERENCES

1. Skurikhin I. M. & Tutelyan V. A. (2002). Chemical composition of Russian food products: Handbook. Delhi print. (In Russ.).
2. Lebedeva, N. G. & Borisova A.V. (2019). Development of technology for preparing soup-puree using various methods of heat treatment. *Vestnik KrasGAU*, (3), 148-153. (In Russ.).

### Information about the authors

*S. L. Tikhonov — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering of the 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 28.01.2021; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 27.02.2021.*

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

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](mailto: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](mailto:polz_journal@mail.ru).

Подписано в печать 13.09.2022. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.  
Усл. п. л. 27,32. Тираж 200 экз. Заказ 2022 – .  
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](mailto:polz_journal@mail.ru)**  
**Дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доцент кафедры ТИАрх**