ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

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

№ 4
2021

Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

Префикс DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С ОКТЯБРЯ 2002 г.
Периодичность – 4 номера в год

№ 4 2021 г.

Научный журнал
входит в перечень ВАК

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сакович Г. В., академик РАН (г. Бийск)
Бессон Р., проф., директор Международного российско-французского центра инноваций и трансфера технологий (г. Безансон, Франция)
Мэй Шунчи, проф., декан УТУ (г. Ухань, Китай)
Лыгденов Б. Д., д.т.н., проф. УТУ(г. Ухань, Китай)
Дебердеев Т. Р., д.т.н., зав. каф. «Технологии переработки полимеров и композиционных материалов» КНИТУ(г. Казань)
Ильясов С. Г., д.х.н., заместитель директора по научной работе ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск)
Блазнов А. Н., д.т.н., заведующий лабораторией материаловедения и минерального сырья ИПХЭТ СО РАН, (г. Бийск)
Петров Е. А., д.т.н., проф., декан инженерного спецфакультета БТИ (г. Бийск)
Деев В. Б., д.т.н., проф., главный научный сотрудник Инжинирингового центра «Литейные технологии и материалы» НИТУ МИСиС (г. Москва)
Батаев В. А., д.т.н., проф. НГТУ (г. Новосибирск)
Коновалов С. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Технологии металлов и авиационного материаловедения» Самарского университета (г. Самара)
Щетинин М. П., д.т.н., проф., проректор по научной работе МГУПП (г. Москва)
Тамова М. Ю., д.т.н., проф., зав. каф. «Общественного питания и сервиса» КубГТУ (г. Краснодар)
Попов В. Г., д.т.н., доц., зав. каф. «Товароведение и технологии продуктов питания» ТИУ (г. Тюмень)
Майоров А. А., д.т.н., проф., главный научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦА (г. Барнаул)
Новоселов С. В., д.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)
Коньшин В. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Химическая технология» АлтГТУ (г. Барнаул)
Романов А. С., д.т.н., проф., зам. директора ООО «Балтийский пекарский дом» (г. Калининград)
Алтухов И. В., д.т.н., доц. ИрГАУ (г. Иркутск)
Гуринович Г. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Технология продуктов питания животного происхождения» КемГУ (г. Кемерово)
Ананьева Е. С., к.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)

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, 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://polzvestnik.altstu.ru
Дата выхода в свет 30.12.2021 г.
Цена 600 рублей.

Polzunovskiy VESTNIK

ISSN 2072-8921

DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921

EST. IN 2002.

№ 4 2021 SCIENTIFIC JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEf

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

EDITORIAL BOARD

Gennady Sakovich, RAS academician, Biysk, Russia
Raimond Besson, professor, Besancon, France
Mei Shunqi, professor, WTU, Wuhan, China
Burial Lygdenov, Doctor of Technical Sciences, WTU, Wuhan, China
Timur Deberdev, Doctor of Technical Sciences, KNRTU, Kazan, Russia
Sergey Iliyasov, 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
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 113a GK, Barnaul, 656038, Russia

WEBSITE: https://polzvestnik.altstu.ru

Signed for printing 30.12.2021

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

А. К. Валова, Н. К. Шелковская, В. А. Вагнер
Розовое вино столового типа из винограда французских сортов, выращенного в предгорной зоне Алтайского края.....7

И. С. Богомолов, Н. Л. Клейменова, М. В. Копылов
Исследование процесса сушки зерновых культур 14

Л. Г. Ермош, К. А. Фадеев, Н. В. Присухина
Разработка рецептурных композиций с высоким содержанием пищевых волокон на основе ягодно-овощных выжимок.....20

М. А. Вайтанис, З. Р. Ходырева, В. А. Быкова, Г. Т. Жуманова
Исследование свойств фаршевых систем из мяса курицы и говяжьего языка с растительным сырьем 27

С. А. Бредихин, В. Н. Андреев, А. Н. Мартеха, Ю. М. Березовский
Исследование реологических характеристик плавленого сыра 35

А. Б. Оспанов, Е. М. Щетинина, Б. О. Кулжанова, Р. К. Макеева
Перспективное направление развития молочной промышленности Казахстана: получение и переработка молока мелкого рогатого скота 41

К. А. Зайцев, А. Л. Новокшанова
Изучение влияния углеводного компонента на потребительские свойства мороженого.....47

Л. Е. Мелёшкина, А. В. Снегирева, Н. В. Червякова
Макаронные изделия функционального назначения.....52

А. М. Федорова, А. И. Лосева, Л. С. Дышлюк, В. И. Минина
Оптимизация экстрагирования активных веществ каллусных и корневых культур Panax Ginseng 60

Е. Ю. Вольф, В. И. Стрижевская, В. М. Козырева, И. В. Симакова, А. А. Вольф
Проектирование функциональной и специализированной продукции с прогнозируемыми свойствами..... 70

М. В. Николенко, В. В. Тригуб, В. Г. Попов, С. А. Белина
Перспективы микроклонального размножения брусники для производства функциональных продуктов питания 81

Л. А. Маюрникова, Е. С. Бычкова, И. О. Ломовский, Д. А. Белякова, А. Л. Бычков
Методология разработки продуктов питания с высокой антиоксидантной активностью..... 90

Е. В. Петренко, Г. А. Губаненко, Е. А. Зайченко, Е. А. Демакова
Минеральный состав рубленых полуфабрикатов из оленины 96

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

М. М. Копырин, А. Е. Марков, А. Н. Иванов
Исследование упруго-прочностных характеристик базальтопластиковых труб, полученных методом КППН.....104

А. А. Ушканов, С. А. Слепцова, С. В. Горохова
Разработка фторопластовых композитов, армированных волокнами на основе базальта 110

Г. В. Алексеев, В. А. Шанин, А. Г. Леу, А. А. Бирченко
Использование физических воздействий при интенсификации производства крахмалов..... 115

Д. В. Андреев
Окислительная паровая конверсия метанола в микроканальном реакторе 123

РАЗДЕЛ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Д. В. Комаров, С. В. Коновалов, Д. В. Жуков, И. С. Виноградов, И. А. Панченко

Анализ современной ситуации в области применения электронно-пучковой обработки различ-ных сплавов. Часть 1 ...129

Д. А. Негров, В. Ю. Путинцев

Влияние низкочастотной модуляции на механические свойства и триботехнические характе-ристики полимерных композиционных материалов.....140

М. А. Гурьев, А. А. Бердыченко, А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, А. В. Дьяченко, Н. С. Малыгина

Исследование коррозии алюминий-цинкового покрытия на стальном листе 146

В. Б. Маркин, Н. А. Мягкова

Баллоны высокого давления из композиционных материалов..... 151

С. В. Морозов

Влияние физической модификации эпоксидного связующего на физико-механические свойства стеклопластика 157

С. А. Хапёрских, Е. С. Ананьева

Влияние природы наполнителя на твердость и износ дисперсно-наполненных композиционных материалов на основе эпоксидно-дианового связующего 163

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 173

CONTENTS

SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

A. K. Valova, N. K. Shelkovskaya, V. A. Vagner
Table type rose wine from French grapes varieties grown in the foothills area of Altai Krai 7

I. S. Bogomolov, N. L. Kleymenova, M. V. Kopylov
Research of grain crops drying process. 14

L.G. Yermosh, K. A. Fadeev, N. V. Prisukhina
Development of prescription compositions with a high content of dietary fiber based on berry and vegetable pomace 20

M. A. Vaitanis, Z. R. Khodyreva, V. A. Bykova, N. T. Zhumanova
Investigation of the properties of minced systems from chicken meat and beef tongue with vegetable raw materials 27

S. A. Bredikhin, V. N. Andreev, A. N. Martekha, Yu. M. Berezovskiy
Investigation of the rheological characteristics of processed cheese 35

A. B. Ospanov, E. M. Shchetinina, B. O. Kulzhanova, R. K. Makeeva
Prospective direction of development of the dairy industry of Kazakhstan: production and processing of little cattle milk. 41

K. A. Zaytsev, A. L. Novokshanova
Study of the effect of the carbohydrate component on the consumer properties of ice cream 47

L. E. Meleshkina, A.B. Snegereva, N. V. Chervyakova
Functional pasta product 52

A. M. Fedorova, A. I. Loseva, L. S. Dyshlyuk, V. I. Minina
Optimization of extraction of active substances of callus and root cultures of Panax Ginseng 60

E. Yu. Volf, V. N. Strizhevskaya, V. M. Kozyreva, I. V. Simakova, A. A. Volf
Design of functional and specialized products with forecasting properties 70

M. V. Nikolenko, V. V. Trigub, V. G. Popov, S. A. Belina
Prospects for micropropagation of lingonberry for the production of functional food 81

L. A. Mayurnikova, E. S. Bychkova, I. O. Lomovsky, D. A. Belykova, A. L. Bychkov
Methodology for the development of foods with high antioxidant activity 90

E. V. Petrenko, G. A. Gubanenko, E. A. Zaychenko, E. A. Demakova
Mineral composition of chopped semi-finished venison 96

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGY

M. M. Kopyrin, A. E. Markov, A. N. Ivanov
Investigation of the elastic-strength characteristics of basalt-plastic pipes, obtained by the OLTW method. 104

A. A. Ushkanov, S. A. Sleptsova, S. V. Gorokhova
Development of fluoroplastic composites reinforced with fibers based on basalt. 110

G. V. Alekseev, V. A. Shanin, A. G. Leu, A. A. Birchenko
Use of physical interventions in intensification of starch production 115

D. V. Andreev
Oxidative methanol steam reforming in microchannel reactor 123

SECTION 3. METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

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 processing of various alloys. Part 1.....129

D. A. Negrov, V. Yu. Putintsev
Influence of low-frequency modulationon mechanical properties and tribotechnical characteristics of polymer composite materials.....140

M. A. Guryev, A. A. Berdychenko, A. M. Guriev, S. G. Ivanov, A. V. Dyachenko, N. S. Malygina
Investigation of corrosion of aluminum-zinc coating on steel sheet.....146

V. B. Markin, N. A. Myagkova
Composite high pressure cylinders materials..... 151

S. V. Morozov
Effect of physical modification of the epoxy binder on the physical and mechanical properties of fi-berglass..... 157

S. A. Khaperskikh, E. S. Anan'eva
Influence of the nature of the filler on the hardness and nose of disperse-filled composite materials based on epoxy-diano binder..... 163

AUTHOR'S INDEX..... 173

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 7–13.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 7–13.

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 663. 252
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.001

РОЗОВОЕ ВИНО СТОЛОВОГО ТИПА ИЗ ВИНОГРАДА ФРАНЦУЗСКИХ СОРТОВ, ВЫРАЩЕННОГО В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Анастасия Константиновна Валова [1], Наталья Кирилловна Шелковская [2], Владимир Анатольевич Вагнер [3]

[1, 2, 3] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[2] Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

[1] nastya_193_97@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4323-3595
[2] shelk49@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1335-1718
[3] v.a.wagner@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1255-6607

Аннотация. *Впервые создано новое розовое вино столового типа из винограда, выращенного в суровой почвенно-климатической зоне алтайского региона. Работа представляет актуальность и новизну для дальнейшего внедрения в промышленное производство. Натуральные соки, выработанные из французских сортов винограда Пино Нуар и Мускат Оттонель, отличались хорошим накоплением сахаров 14,7–17,8 г/100 г. Уровень титруемых кислот несколько выше нормы (8,0 г/дм^3) и составляет 11,2–11,8 г/дм^3. Сумма полифенолов – 2339–2892 мг/дм^3, что указывает на высокое качество сырья. Виноградные виноматериалы готовили методом микровиноделия практически полным сбраживанием природного сахара – 0,36–0,59 %. Наброд спирта – 10,9–12,8 % об. Накопление летучих кислот в пределах ПДК (не более 1,20 г/дм^3) и составляет 0,36–0,59 г/дм^3. В результате окислительных процессов снизилось содержание полифенолов с 2339–2892 – в соках до 1654–2581 мг/дм^3 – в виноматериалах, приведенного экстракта с 29,1 до 23,7 г/дм^3, но этот факт не снижает их высокое качество. Во время длительной выдержки в виноматериалах при соблюдении требуемых условий произошли небольшие изменения, не повлиявшие на качество и физико-химические показатели. Создание нового розового вина осуществляли по купажной технологии. Смешивание белого виноградного виноматериала с красным проводили в следующих процентных соотношениях по объему – 90:10; 80:20; 70:30; 60:40; 50:50. По результатам высшей дегустационной оценки отобран оптимальный вариант в соотношении 60:40. Розовое виноградное вино столового типа обладает гармоничным мягким вкусом, букетом, в аромате прослеживаются сортовые тона. Доказано, что по основным физико-химическим показателям и органолептическим качествам полученное вино соответствует ГОСТ 32030-2013 «Вина столовые и виноматериалы столовые. Общие технические условия».*

Ключевые слова: *соки, виноматериалы из красного и белого винограда, активные сухие дрожжи, брожение по белому и красному способу, розовое столовое вино.*

Для цитирования: Валова, А. К., Шелковская, Н. К., Вагнер, В. А. Розовое вино столового типа из винограда французских сортов, выращенного в предгорной зоне Алтайского края // Ползуновский вестник. 2021. № 4. 7–13.doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.001.

© Валова, А. К., Шелковская, Н. К. Вагнер, В. А., 2021

Original article

TABLE TYPE ROSE WINE FROM FRENCH GRAPES VARIETIES GROWN IN THE FOOTHILLS AREA OF ALTAI KRAI

Anastasia K. Valova [1], Natalia K. Shelkovskaya [2], Vladimir A. Vagner [3]

[1, 2, 3] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[2] Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul, Russia

[1] nastya_193_97@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4323-3595
[2] shelk49@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1335-1718
[3] v.a.wagner@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1255-6607

Abstract. *For the first time, a new table-type rose wine was produced from grapes varieties grown in the severe soil and climate zone of Altai region. The paper has both significant relevance and novelty for further implementation in industry. Original juices produced from French grape varieties Pinot Noir and Muscat Ottonel were distinguished by high accumulation of sugars 14.7-17.8 g/100 g. The titratable acids level was slightly higher compare to standard parameters (8.0 g/dm^3) and ranged from 11.2 up to 11.8 g/dm^3. Polyphenols level was registered as 2339-2892 mg/dm^3 indicates the high quality of raw material. Grape wine materials were prepared by micro-winemaking method with mostly complete fermentation of natural sugar – 0.36-0.59%. Alcohol value – 10.9-12.8% vol. The volatile acids accumulation fits the maximum permissible concentration (no more than 1.20 g/dm^3), and ranged from 0.36 to 0.59 g/dm^3. As a result of oxidative processes, the content of polyphenols decreased from 2339-2892 mg/dm^3 in juices to 1654-2581 mg/dm^3 in wine materials, in normalized extract from 29.1 to 23.7 g/dm^3, but did not reduce their high quality. In process of long-term aging of wine materials under proper conditions, minor changes occurred that did not affect the quality and physicochemical characteristics. The producing of a new rose wine was carried out by blending technology. Mixing of white grape wine material with red one was carried out in the following percentages ratio – 90:10; 80:20; 70:30; 60:40; 50:50. According to the results of tasting assessment the best option was selected in a ratio of 60:40. Table-type rose grape wine has a harmonious mild taste, bouquet, varietal tones can be traced in the aroma. It has been proved that in terms of the main physical and chemical parameters and organoleptic qualities, the obtaining wine corresponds to State Standard 32030-2013 "Table wines and table wine materials. General technical requirements".*

Keywords: *juices, wine materials from red and white grapes, active dry yeast, white and red fermentation, table rose wine.*

For citation: Valova, A. K., Shelkovskaya, N. K. & Vagner, V. A. (2021). Table type rose wine from French grapes varieties grown in the foothills area of Altai Krai. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 7-13. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.001.

ВВЕДЕНИЕ

Виноградные вина столового типа отличаются от вин крепких и крепленых мягкостью, бархатистостью, слаженным букетом, вкусом и высоким содержанием глицерина [1]. Виноградные столовые вина различных сортов на российском рынке, в т.ч. и алтайском, занимают достойное место. Но в ассортименте не присутствуют или находятся в малом количестве розовые вина. Это объясняется тем, что производство таких вин в России осуществляется лишь в нескольких винодельческих регионах, в частности в Крыму. Розовое вино можно производить из любых сортов красного винограда. Наиболее часто используют Гаранча, Санджовезе, Мурведр, Кариньян, Сэнсо. Во Франции обычно “розе” готовят из сорта Пино Нуар, в Австралии – из Шираза. Можно выпускать розовое вино также из белого винограда сортов Муската Розового или Пино Гриджио. Цвет таких сортов условно считают белым, ягоды их ярко-розовые с красным оттенком. Из «обыкновенного» белого винограда розовое вино тоже производят – для

этого сок белых ягод настаивают на мезге красных сортов [2].

В своей работе мы пытались создать вино розовое по купажной технологии путем смешивания белого и красного сортов винограда в разных соотношениях. Данные исследования представляют актуальность и новизну, так как в дальнейшем предполагается их внедрение в промышленное производство.

УСЛОВИЯ

Исследования выполнены в лаборатории кафедры «Технология бродильных производств и виноделия» АлтГТУ им. И.И. Ползунова в 2020–2021 гг.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Виноградные белые и красные соки, виноматериалы и розовое вино столового типа.

МЕТОДЫ

Виноматериалы и вина из винограда готовили согласно «Основным правилам, технологическим инструкциям и нормативным материалам по производству винодельческой продукции» [4]. Физико-химический контроль процесса брожения проводили по уменьшению содержанию сахара и накоплению спирта [5], микробиологический – по состоянию дрожжевых клеток [6]. После выдержки виноматериалы стабилизировали оклейкой бентонитом в сочетании с желатином [3], затем фильтровали и разливали горячим способом в стерильные бутылки. Физико-химические исследования соков, виноматериалов и столового розового вина определяли по ГОСТ: ISO750; 24556; 26188; 28562; 32001; Р 51620. Общее содержание полифенолов с реактивом Фолина–Чокальтеу [5]. Анализы проведены в 3-х кратной повторности. Статистическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову [7].

Цель работы: создание нового розового вина столового типа, обладающего высокой биологической ценностью, функциональной направленностью и оптимальными органолептическими качествами.

Научная работа представляет новизну и актуальность, так как в Алтайском крае не производят розовое вино столового типа из винограда французских сортов, обладающего более высокой пищевкусовой и биологической ценностью.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Первичное брожение сока сорта Мускат Оттонель из белого винограда проводили по «белому» способу, из красного винограда сорта Пино Нуар – по «красному» на мезге и использованием активных сухих дрожжей (АСД) расы Франс Суперстарт из расчёта 1–2 г/дал [3] (рисунок 1).

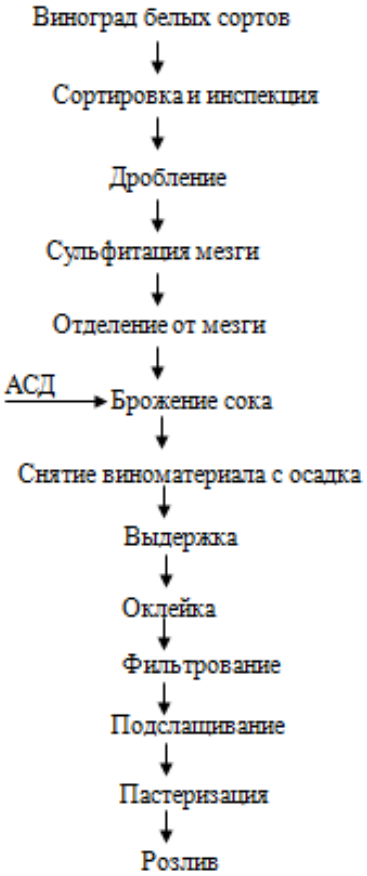


Рисунок 1 – Технологическая схема производства белых виноматериалов

Figure 1 – Technological scheme of production of white wine materials

В течение 4–5 дней проводили тщательное погружение «шапки» мезги в сусло 3–4 раза в сутки для максимального извлечения из неё экстрактивных, красящих веществ и других биологически активных соединений, и предупреждения уксусного скисания. На 5–6 день сусло сливали с мезги в подготовленные ёмкости, мезгу тщательно отжимали на прессе и продолжали брожение по «белому» способу (рисунок 2).

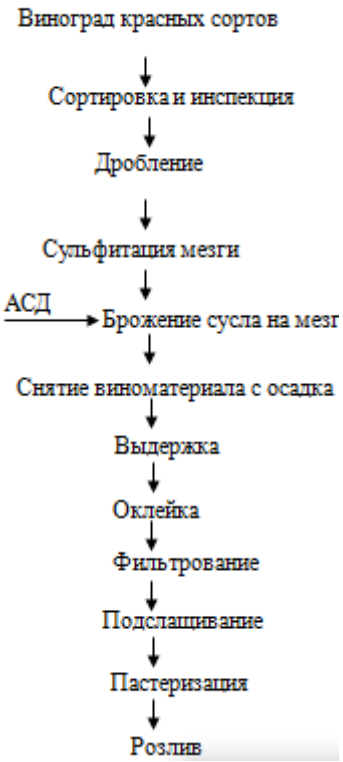


Рисунок 2 – Технологическая схема производства красных виноматериалов

Figure 2 – Technological scheme of production of red wine materials

ОБСУЖДЕНИЕ

Массовая концентрация общего сахара в виноградных соках 14,7–17,8 г/100 г, растворимые сухие вещества (РСВ) – 16,3–18,1 % (таблица 1). Титруемая кислотность несколько выше нормируемой – 11,2–11,8 г/дм^3. Значение pH коррелирует с титруемой кислотностью (3,12–3,15 единиц). Содержание полифенолов – 2339–2892 мг/дм^3, что указывает на высокое качество винограда. Витамин С обнаружен в небольшом количестве – 2,9–5,0 мг/100 г.

К окончанию брожения сахар практически насухо выброжен (0,36–0,59 %). Наброд спирта 10,9–12,8 % об., что соответствует требованиям ГОСТ для столовых вин (не менее 8,5 и не более 15,0 об.). Титруемая кислотность понизилась, т. к. наряду со спиртовым брожением прошло яблочно-молочнокислое. Накопление летучих кислот в пределах ПДК – 0,36–0,59 г/дм^3. В результате окислительных процессов в период брожения произошло уменьшение суммы полифенолов с 2339–2892 – в соках до 2581–1654 мг/дм^3 – в виноматериалах, приведенный экстракт с 29,1 до 23,7 г/дм^3. Остаточное содержание витамина С в виноградных сброженных соках минимальное – 0,45–0,89 мг/100 г. Снижение витамина С, суммы полифенолов и приведенного экстракта произошло за счет окислительных процессов в ходе брожения.

Таблица 1 – Физико-химические показатели виноградных соков урожая 2020 г.

Table 1 – Physico-chemical indicators of grape juices of the 2020 harvest

Сок, сорт	РСВ %	Общий сахар, г/100 г	Титруемая кислотность, г/дм^3	СКИ (ед.)	pH (ед.)	Сумма полифенолов, мг/дм^3	Приведенный экстракт, г/дм^3	ВитаминС, мг/100г
Виноградный								
Красный Пино Нуар	16,3	14,7	11,8	12,46	3,12	2892	29,1	5,0
Мускат Оттонель	18,1	17,8	11,2	15,89	3,15	2339	23,7	2,9

** Примечание: РСВ – растворимые сухие вещества; СКИ – сахарокислотный индекс; ед. – единица*

В виноматериалах в период выдержки в течение 6 месяцев при соблюдении всех требуемых условий произошли небольшие изменения, не повлиявшие на их качество. Накопление летучих кислот сравнительно небольшое, суммарное их содержание в пределах 0,59–0,72г/дм^3, при ПДК не более 1,20 г/дм^3. Сумма полифенолов уменьшилась на 45–70 мг/дм^3, за счет окислительных процессов, но находится на очень высоком уровне. Приведенный экстракт высокий – 26,2–23,3 г/дм^3. Виноматериалы во вкусе и аромате отражают свойства сортового винограда без постороннего привкуса (таблица 2).

Таблица 2 – Биохимический состав свежеприготовленных виноматериалов

Table 2 – Biochemical composition of freshlyprepared winematerials

Вино-материал, сорт	Сахар остаточный, %	Титруемая кислотность, г/дм^3	pH, (ед.)	Сумма полифенолов, мг/дм^3	Приведенный экстракт, г/дм^3	Спирт, % об.	Летучие кислоты г/дм^3	Витамин С, г/100г
Виноградный								
Красный Пино Нуар	0,36	11,1	3,11	2581	26,9	10,9	0,59	0,89
Мускат Оттонель	0,59	9,0	3,24	1654	23,7	12,8	0,36	0,45

После длительной (6 мес.) выдержки виноградные виноматериалы подвергали обработке суспензией бентонита и раствором желатина против белковых, коллоидных и других помутнений в соответствии с результатами пробной оклейки. Далее фильтровали и проводили купажирование белого виноматериала с красным сброженным соком в следующих процентных соотношениях: 90:10; 80:20; 70:30; 60:40; 50:50.

В таблице 3 представлены результаты пробного купажирования виноградных виноматериалов белого Мускат Оттонель (основа) и красного Пино Нуар (вводимый). Дегустационная оценка пробных купажей проведена по 8-балльной шкале.

По максимальной дегустационной оценке, из пяти вариантов, отобран купаж в соотношении 60:40.

Таблица 3 – Состав, процентное соотношение, дегустационная оценка пробных купажей

Table 3 – Composition, percentage ratio, tasting evaluation of trial blends

Варианты пробных купажей	Виноматериалы (сорт) – процентные соотношения		Дегустационная оценка (балл)
	Мускат Оттонель (основа)	*Пино Нуар (вводимый)*	
1	90	10	6,8
2	80	20	7,2
3	70	30	7,7
4	**60**	**40**	**8,0**
5	50	50	7,2

Производственный купаж приготовили в объеме 3 л. Купаж фильтровали, подслащивали до кондиций полусухого столового вина 30 г/дм^3 и ставили на длительную выдержку.

В таблице 4 представлены данные физико-химических анализов и дегустационная оценка (10-балльная шкала) купажного розового вина столового типа.

Таблица 4 – Биохимический состав и дегустационная оценка купажного розового вина столового типа

Table 4 – Biochemical composition and tasting evaluation of table-type blended rose wine

Купажное вино (состав)	Сахар, г/дм^3	Титруемая кислотность, г/дм^3	pH, (ед.)	Спирт, % об.	Летучие кислоты, г/дм^3	Сумма полифенолов, мг/дм^3	Приведенный экстракт, г/дм^3	Дегустационная оценка, балл
Сухое розовое вино	29,9	6,4	3,7	10,3	0,36	1969	24,5	9,6

По содержанию сахара 29,9 г/дм^3 розовое столовое вино – полусухое. Титруемая кислотность умеренная 6,4 г/дм^3. Объемная доля этилового спирта 10,3 %, летучие кислоты 0,36 г/дм^3 – все показатели в соответствии с нормативными требованиями. Сумма полифенольных веществ на довольно высоком уровне – 1969 мг/дм^3. Приведенный экстракт 24,5 г/дм^3, что выше нормируемых требований для столовых вин (не менее 19 г/дм^3).

Дегустация купажного розового вина столового типа показала, что в нем наблюдается свежий и хорошо выраженный винный гармоничный вкус с ароматом обоих введенных составляющих. Цвет вина розовый, яркий с клубничным оттенком. Вино кристально прозрачное с блеском.

Дегустационная оценка высокая – 9,6 балла. По физико-химическим показателям розовое вино соответствует требованиям ГОСТ 32030-2013 «Вина столовые и виноматериалы столовые. Общие технические условия» [11]. Разработан проект нормативно-технической документации (ТИ ГОСТ Р32030) – Технологическая инструкция по производству вина розового столового типа из винограда французских сортов.

ВЫВОДЫ

1. Установлены различия по биохимическому составу соков и виноматериалов из винограда французских сортов.

2. Выработан опытный образец розового вина столового типа.

3. Купажное вино розовое столового типа по основным физико-химическим показателям соответствует требованиям ГОСТ 32030-2013 «Вина столовые и виноматериалы столовые. Общие технические условия» [11].

4. На основании проведенных исследований разработана технологическая инструкция (ТИ) по производству розового вина столового типа из винограда белого и красного, выращенного в предгорном регионе Алтайского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кишковский З.Н., Мержаниан А.А. Технология вина. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. 504 с.

2. Валуйко Г.Г., Шольц Е.П., Трошин Л.П. Методические рекомендации по технологической оценке технологической оценке винограда для виноделия / Под общей редакцией Г.Г. Валуйко. Ялта : ВНИИВИВ, 1983. С. 25–26.

3. Валуйко Г.Г. Технология виноградных вин. Симферополь : Таврида, 2001. 620 с.

4. Сборник основных правил, технологических инструкций и нормативных материалов по производству винодельческой продукции. Москва, Пищепромиздат, 1998. С. 42–46.

5. Гержикова В.Г. Методы технохимического контроля в виноделии / Под ред. В.Г. Гержиковой. Симферополь : Таврида, 2002. 260 с.

6. Бурьян Н.Н., Тюрина, Л.В. Микробиология виноделия. Москва : Пищевая промышленность, 1979. С. 226–235.

7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва : Агропромиздат, 1979. 416 с.

8. Тихонова А.Н. Влияние штаммов активных сухих дрожжей на органолептику вина / А.Н. Тихонова, Л.И. Стрибжева, Е.В. Ежова, Н.Ю. Качаева // Виноделие и виноградарство. № 2. 2011. С. 14–15.

9. ГОСТ32030-2013. Вина столовые и виноматериалы столовые. Общие технические условия дата введения 2014-07-01. Москва : Издательство стандартов, 2014. 8 с.

10. Матчина, И.Г., Бузни А.Н. Экономика виноделия. Симферополь : Таврида, 2003. 256 с.

Информация об авторах

А. К. Валова – магистрант Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Н. К. Шелковская – доцент кафедры ТБПиВ Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; старший научный сотрудник Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий.

В. А. Вагнер – к.т.н., заведующий кафедрой ТБПиВ Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Kishkovsky, Z.N. & Merzhanian, A.A. (1984). *Wine technology.* Moscow: Light and food industry. (In Russ).

2. Valuiko, G.G., Scholz, E.P. & Troshin, L.P. (1983). *Methodological recommendations on technological evaluation of grapes for winemakin*g. Yalta: VNIIVIV. (In Russ).

3. Valuiko, G.G. (2001). *Technology of grape wines*. - Simferopol: Tavrida. (In Russ).

4. *Collection of basic rules, technological instructions and regulatory materials for the production of wine products* (1998). Moscow: Pishchepromizdat. (In Russ).

5. Gerzhikova, V.G. (2002). *Methods of technochemical control in winemaking*. Simferopol: Tavrida. (In Russ).

6. Buryan, N.N. & Tyurina, L.V. (1979). *Microbiology of winemaking*. Moscow: Food industry. (In Russ).

7. Dospekhov, B.A. (1979). *Methodology of field experience.* Moscow: Agropromizdat. (In Russ).

8. Tikhonova, A.N., Stribzheva, L.I., Yezhova, E.V. & Kachaeva, N.Yu. (2011). Influence of

active dry yeast strains on the organoleptics of wine. *Winemaking and viticulture,* (2), 14-15. (In Russ).

9. Table wines and table winestocks. General specifications (2014). *HOST32030-2013. from 1 July 2014.* Moscow: Standards Publishing House. (In Russ).

10. Matchina, I.G. & Buzni, A.N. (2003). *Economics of winemaking*. Simferopol: Tavrida. (In Russ).

Information about the authors

A. K. Valova - master's student of the Polzunov Altai State Technical University.

N. K. Shelkovskaya - Associate Professor of the Department of TBPiV, Polzunov Altai State Technical University; senior researcher, Federal Altai Scientific Center of Agroboitechnologies.

V. A. Wagner - Ph.D., Head of the Department of TBPiV, 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 13.10.2021; одобрена после рецензирования 12.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 13 Oct 21; approved after reviewing on 12 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 14–19.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 14–19.

Научная статья
05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
УДК 665.35
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.002

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Игорь Сергеевич Богомолов [1], Наталья Леонидовна Клейменова [2], Максим Васильевич Копылов [3]

[1] АО НПЦ «ВНИИ Комбикормовой промышленности», Воронеж, Россия
[2, 3] Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

[1] igor-bog@yandex.ru
[2] klesha78@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-1462-4055
[3] kopylov-maks@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Аннотация. *Проведено исследование процесса влаготепловой обработки зерновых культур: зерна пшеницы, овса, ячменя, кукурузы, гороха, отрубей и других зерновых культур. Изучение процесса сушки осуществляли на сушильной установке с перемешиваемым слоем, с высотой насыпи материала от 100 до 400 мм. Эксперимент проводили при изменении температуры сушильного агента в интервале от 100 до 170 °С, скорости воздуха от 0,5 до 2,0 м/с, продолжительности обработки от 3 до 20 минут. Максимальная высота обрабатываемого слоя для данного типа установки составила 250–300 мм. Установлено, что наилучшие результаты получены при температуре агента сушки 120–130 °С. В процессе сушки температура хлопьев возрастала до 90–100 °С в течение 8–9 мин, а влажность продукта уменьшалась с 23 % до 13–14 %. Получены результаты при различном состоянии слоя: в плотном не перемешиваемом слое нагрев хлопьев происходит неравномерно, и сушка также оказывается неравномерной. Исследование влияния процесса сушки на качество продукта показало, что при лучшем режиме качественные показатели хлопьев после сушки изменяются незначительно по сравнению с хлопьями до сушки. В качестве рационального режима сушки хлопьев рекомендуется начальная влажность 22–24 %: температура агента сушки – 120–130 °С; продолжительность сушки – 8–9 мин; скорость продувки слоя – 0,7–0,8 м/с; высота продуваемого слоя – 250–300 мм. Исследован процесс охлаждения хлопьев, в результате которого при скорости воздуха 0,7–0,8 м/с в плотном слое при высоте более 150 мм наблюдалось неравномерное охлаждение продукта. Механическое перемешивание способствует выравниванию температуры продукта по высоте слоя. Таким образом, установлена оптимальная высота слоя при перемешивании – 250–300 мм.*

Ключевые слова: *ячменные хлопья, процесс, сушка, влагосодержание.*

Для цитирования: Богомолов, И. С., Клейменова, Н. Л., Копылов, М. В. Исследование процесса сушки зерновых культур // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 14-19. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.002.

© Богомолов, И. С., Клейменова, Н. Л., Копылов, М. В., 2021

Original article

RESEARCH OF GRAIN CROPSDRYING PROCESS

Igor S. Bogomolov [1], Natalia L. Kleymenova [2], Maxim V. Kopylov [3]

[1] JSC RPC «All-Russian Research Institute of the Feed Industry», Voronezh, Russia
[2, 3] Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia
[1] igor-bog@yandex.ru
[2] klesha78@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-1462-4055
[3] kopylov-maks@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Abstract. *The study of the process of grain crops moisture-thermal treatment: wheat, oats, barley, corn, peas, bran and others was carried out in the work. The research of the drying process was carried out on a drying unit with a stirred layer with a height of the material fill from 100 to 400 mm. The experiment was carried out with a change in the temperature of the drying agent in the range from 100 to 170 °C, air speed from 0.5 to 2.0 m / s, and the duration of treatment from 3 to 20 minutes. The maximum height of the processed layer for this type of unit was 250-300 mm. It was found out that the best results were obtained at a drying agent temperature of 120-130 °C. The temperature of the flakes increased to 90-100 °C within 8-9 minutes, and the moisture content of the product decreased from 23% to 13-14% during the drying process. The results were obtained with different conditions of the layer: in a dense, non-agitated layer, heating of the flakes occured unevenly, and drying also turned out to be uneven. The study of the drying process influence on the product quality showed that with the best mode, the quality indicators of the flakes after drying change insignificantly in comparison with the flakes before drying. As a rational drying mode, the flakes initial moisture content is recommended to be 22-24%: the temperature of the drying agent is 120-130 °C; the drying time - 8-9 minutes; the layer blowing speed - 0.7-0.8 m/s; the height of the blown layer is 250-300 mm. The flakes cooling process was also investigated. As a result, uneven product cooling was observed at an air speed of 0.7-0.8 m/s in a dense layer at a height of more than 150 mm. Mechanical stirring helps to even the product temperature along the layer height. Thus, the optimal layer height with stirring is set - 250-300 mm.*

Keywords: *barley flakes, process, drying, moisture content.*

For citation: Bogomolov, I. S., Kleymenova, N. L. & Kopylov, M. V. (2021). Research of grain crops-drying process. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 14-19. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.002.

ВВЕДЕНИЕ

Современные сушильные предприятия нуждаются в экономичных и безопасных системах быстрой и низкотемпературной сушки [1]. Сушка является наиболее важным послеуборочным процессом для быстрого и безопасного сохранения сельскохозяйственной продукции, но в то же время этот процесс требует большого энергопотребления [2, 3]. Сельскохозяйственная сушка особенно энергозатратна по нескольким причинам: высокие различия между содержанием влаги в урожае и при хранении; низкие температуры сушки и низкие уровни предварительной обработки из-за чувствительности к термическим и механическим нагрузкам [4, 5]. Хорошо зарекомендовавшие себя методы увеличения тепломассообмена, такие как увеличение поверхности и перемешивание материала слоя, не применимы для многих продуктов [6]. Поэтому фермеры зависят от оптимальных окон для сбора урожая и погодных условий, а также мощных систем сушки, чтобы достичь высокого качества продукции, избежать его ухудшения качества и одновременно обработать большое количество продукции [7–9]. Следовательно, технологам приходится идти на компромисс между щадящей сушкой, энергоэффективностью и высокой производительностью сушки, чтобы приблизиться к оптимальному качеству процесса для конкретной культуры [10–12].

Цель исследования – изучение процессов сушки и охлаждения хлопьев.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты по изучению процесса сушки выполняли на сушильной установке с перемешиваемым слоем при высоте насыпи от 100 до 400 мм.

Исследования проводили при изменении температуры сушильного агента в интервале от 100 до 170 ºС, скорости воздуха от 0,5 до 2,0 м/с, продолжительности обработки от 3 до 20 минут. Начальная влажность хлопьев была в пределах 20–25 %, а их начальная температура составляла 20–25 ºС.

Пробы на влажность отбирали на выходе из сушильного аппарата [13]. Сущность метода заключалась в обезвоживании навески измельченного зерна в сушильном шкафу (установке) при фиксированных параметрах: температуре, времени сушки и вычислении влажности в процентах по изменению ее массы путем взвешивания навески до и после высушивания.

При определении высоты слоя продукта исходили из возможности обработки хлопьев в слое наибольшей высоты, с целью большего съема влаги. Исследования показали, что максимальная высота обрабатываемого слоя для данного типа установки составляет 250–300 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование процесса влаготепловой обработки зерновых культур проводили с предварительным увлажнением зерна водой или пропариванием. Объектами исследований являлись зерна пшеницы, овса, ячменя, кукурузы, гороха, отруби и другие зерновые культуры. Увлажнение зерна водой осуществляли при изменении температуры в пределах от 20 ºС до 100 ºС и длительности обработки от 1 до 10 минут. При проведении экспериментов зерно увлажняли до влажности 18–20 %.

Хлопья, полученные с применением увлажнения или пропаривания, имеют повышенную влажность – 20–25 %, что при хранении приводит к ухудшению технологических свойств, слеживанию, самосогреванию, быстрому снижению качества продукта, ухудшению санитарного состояния хлопьев.

Для предотвращения этих явлений в технологической схеме должна быть предусмотрена сушка хлопьев с доведением влажности их до 13–14 %.

Результаты исследований показывают, что, как и следовало ожидать, повышение температуры воздуха значительно интенсифицирует процесс сушки (рисунки 1 и 2). При температуре агента сушки 110 ºС, скорости его 0,75 м/с температура хлопьев в течение десяти минут достигала 90 ºС, влажность хлопьев снижалась с 23 до 16 %.

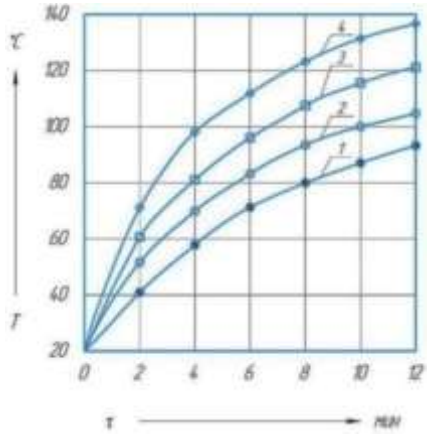


Рисунок 1 – Изменение температуры ячменных хлопьев в процессе сушки в зависимости от скорости воздуха $v_в$ = 0,75 м/с: 1 – $T_а$ = 170 ºС, 2 – $T_а$ = 150 ºС, 3 – $T_а$ = 130 ºС, 4 – $T_а$ = 110 ºС

Figure 1 – Change in temperature of barley flakes during drying depending on air speed va = 0.75 m/s: 1 – Ta = 170 ºC, 2 – Ta = 150 ºC, 3 – Ta = 130 ºC, 4 – Ta = 110 ºC

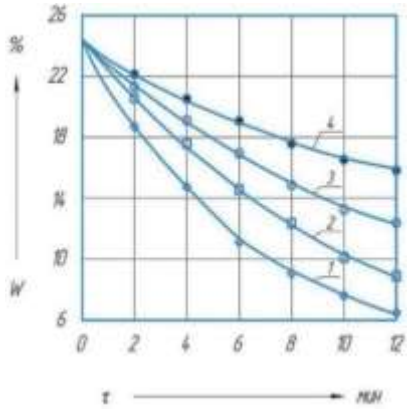


Рисунок 2 – Изменение влагосодержания ячменных хлопьев в процессе сушки в зависимости от скорости воздуха $v_в$ = 0,75 м/с: 1 – $T_а$ = 170 ºС, 2 – $T_а$ = 150 ºС, 3 – $T_а$ = 130 ºС, 4 – $T_а$ = 110 ºС

Figure 2 – Change in moisture content of barley flakes during drying depending on air speed va = 0.75 m/s: 1 – Ta = 170 ºC, 2 – Ta = 150 ºC, 3 – Ta = 130 ºC, 4 – Ta = 110 ºC

С повышением температуры агента сушки до 170 ºС процесс интенсифицировался более чем в 2 раза, но при такой температуре мелкая фракция хлопьев пересушивается и может самовоспламениться. Лучшие результаты получены при температуре агента сушки 120–130 ºС. В процессе сушки температура хлопьев возрастала до 90–100 ºС в течение 8–9 минут, и за этот период влажность продукта снижалась с 23 % до 13–14 %.

Изучение процесса сушки хлопьев при различном состоянии слоя показало, что в плотном не перемешиваемом слое нагрев хлопьев происходит неравномерно (рисунок 3) и соответственно наблюдается значительная неравномерность сушки.

Скорость теплоносителя оказывает существенное влияние на интенсивность сушки. При изменении скорости агента сушки, имеющего температуру 150 ºС, от 0,2 м/с до 1,0 м/с, влажность продукта после 6 минут обработки составляла, соответственно 17,6 и 12,2 % (рисунок 4). Дальнейшее повышение скорости агента сушки выше 1 м/с приводило к уносу мелких частиц хлопьев, на основании чего рекомендуемая скорость воздуха составляла 0,75 м/с. Изучение влияния процесса сушки на качество продукта показало, что при лучшем режиме качественные показатели хлопьев после сушки изменяются незначительно по сравнению с хлопьями до сушки.

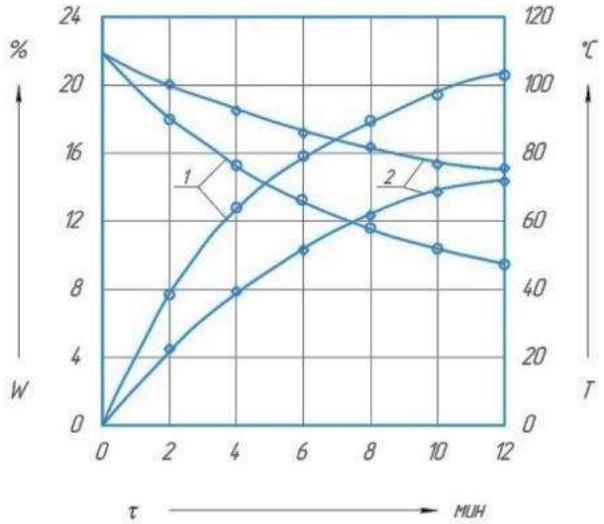


Рисунок 3 – Изменение влажности и температуры слоя хлопьев от состояния продукта в процессе сушки при $H_{слоя}$ = 250 мм, $T_а$ =150 ºС, $v_в$ = 0,7 м/с:
1 – перемешиваемый слой,
2 – неподвижный слой

Figure 3 – The change in the moisture content and temperature of the flake layer from the state of the product during the drying process at H_{layer} = 250 mm, Ta = 150 ºC, va = 0.7 m/s:
1 - agitated layer, 2 - fixed layer

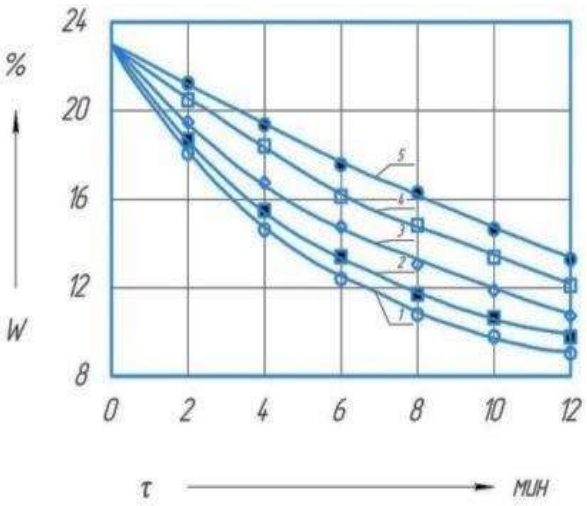


Рисунок 4 – Изменение влагосодержания ячменных хлопьев в процессе сушки при температуре агента сушки $T_а$ =150 ºС:
1 – $v_в$ = 1,0 м/с, 2 – $v_в$ = 0,75 м/с, 3 – $v_в$ = 0,5 м/с,
4 – $v_в$ = 0,32 м/с, 5 – $v_в$ = 0,2 м/с

Figure 4 – Change in moisture content of barley flakes during drying at a drying agent temperature Ta = 150 ºC: 1 – va = 1,0 m/s, 2 – va = 0,75 m/s,
3 – va = 0,5 m/s, 4 – va = 0,32 m/s,
5 – va = 0,2 016 m/s

На основании исследований можно рекомендовать следующий режим сушки хлопьев начальной влажностью 22–24 %: температура агента сушки – 120–130 ºС; продолжительность сушки – 8–9 мин; скорость продувки слоя – 0,7–0,8 м/с; высота продуваемого слоя – 250–300 мм.

В процессе сушки температура хлопьев возрастает до 100 ºС, поэтому после этой операции их необходимо охлаждать до температуры, при которой возможно их хранение без ухудшения качества.

В ходе исследования процесса охлаждения хлопьев изменяли два основных фактора, оказывающих наибольшее влияние на интенсификацию процесса охлаждения: скорость воздуха и толщину слоя хлопьев – от 0,2 до 1,0 м/с и от 100 до 450 мм соответственно. Начальная температура хлопьев составляла от 100 до 96 ºС, а относительная влажность воздуха – от 67 до 85 %.

Охлаждение хлопьев осуществляли до температуры не выше 10–15 ºС – температуры окружающей среды. Увеличение скорости воздуха выше 1 м/с приводит к уносу более мелкой фракции хлопьев, поэтому скорость воздуха в опытах была не выше 1 м/с.

Изучение процесса охлаждения показало (рисунок 5), что, как и следовало ожидать, с увеличением скорости воздуха температура продукта снижается быстрее.

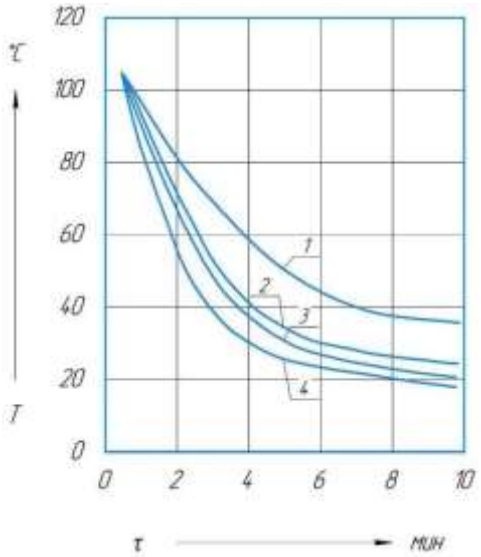


Рисунок 5 – Изменение температуры хлопьев в процессе охлаждения:
1 – $v_в$ = 0,2 м/с, 2 – $v_в$ = 0,55 м/с,
3 – $v_в$ = 0,75 м/с, 4 – $v_в$ = 1,0 м/с

Figure 5 – Change in temperature of flakes during cooling:
1 - va = 0.2 m/s, 2 - va = 0.55 m/s,
3 - va = 0.75 m/s, 4 - va = 1.0 m/s

Если при скорости воздуха 0,2 м/с за 6 минут температура хлопьев составляла 45–50 ºС, то за аналогичный промежуток времени, но при скорости воздуха 1 м/с, она составляла 23–25 ºС. Увеличение толщины слоя хлопьев приводит к замедлению процесса охлаждения. Так, при скорости воздуха 0,7–0,8 м/с в плотном слое при высоте более 150 мм наблюдалось неравномерное охлаждение продукта. Механическое перемешивание способствовало выравниванию температуры продукта по высоте слоя. Наиболее оптимальная высота слоя при перемешивании составляла 250–300 мм.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании анализа результатов экспериментов установлено, что наиболее интенсивный режим охлаждения без ухудшения качественной характеристики продукта происходит при скорости воздуха 0,7–0,8 м/с, высоте перемешивающего слоя – 300 мм и продолжительности охлаждения – 4–5 минут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В.А., Остриков А.Н. Приоритетные методы тепловой обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов. Воронеж : ВГУИТ, 2015. 336 с.

2. Остриков А.Н., Афанасьев В.А., Мануйлов В.В. Разработка технологии зерновых хлопьев для комбикормов // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 15–21.

3. Афанасьев В.А., Остриков А.Н. Приоритетные методы тепловой обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов. Воронеж : ВГУИТ, 2015. 336 с.

4. Афанасьев В.А. Энерго- и ресурсосберегающие технологии комбикормов. Воронеж : ВГУИТ, 2017. 473 с.

5. Бунзель Д., Лемме А. Технологические и биологические аспекты тепловой обработки комбикормов // Комбикорма. 2015. № 12. С. 43–46.

6. Спесивцев А.И. Процесс смешивания при производстве комбикормов // Комбикорма. 2016. № 3. С. 37–41.

7. Цвырко А.А. Современное состояние и проблемы формирования эффективного рынка зерна // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012. Vol. 1 (1). С. 19–23.

8. Sokolov M.S., Glinushkin A.P., Toropova E.Y., Borovaya V.P., Bugaeva L.N. Healthy soil – phytosanitary basis of non-pesticide crop production // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2015. Vol. 48 (12). P. 3–9.

9. Орловцева О.А., Игнатенко Н.А., Клейменова Н.Л. Изучение влияния внешних условий на процесс хранения зерна // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 4 (70). С. 36–40.

10. Tertychnaya T.N., Shevtsov A.A., Kulikov S.S. Experimental and statistical analysis research of the triticale grain drying process when countercurrent-direct-flow blowing of the grain layer // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. Vol. 82 (4). P. 38–46.

11. Mellmann Jochen, Weigler Fabian, Scaar, Holger. Research on procedural optimization and development of agricultural drying processes // Drying Technology. 2019. Vol. 37 (5). P. 569–578.

12. Остриков А.Н., Афанасьев В.А., Мануйлов В.В. Разработка комплекта оборудования для производства зерновых хлопьев для комбикормов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2017. № 1. С. 74–83.

13. ГОСТ13586.5-2015 Зерно. Метод определения влажности : дата введения 2016-07-01. Москва : Стандартинформ, 2019. 12 с.

Информация об авторах

И. С. Богомолов – к.т.н., доцент кафедры ТЖ, ПАХПП, Воронежский государственный университет инженерных технологий.

Н. Л. Клейменова – к.т.н., доцент кафедры УК и ТВБ, Воронежский государственный университет инженерных технологий.

М. В. Копылов – к.т.н., доцент кафедры ТЖ, ПАХПП, Воронежский государственный университет инженерных технологий.

REFERENCES

1. Afanasyev, V.A., Ostrikov, A.N. (2015). Priority methods of heat treatment of grain components in the technology of compound feeds, Voronezh: VSUIT. P. 336. (In Russ.).

2. Ostrikov, A.N., Afanasyev, V.A., Manuilov, V.V. (2017). Development of technology of grain flakes for compound feeds. *Vestnik VGUIT*, 79 (1), 15-21. (In Russ.).

3. Afanasyev, V.A., Ostrikov, A.N. (2015). Priority methods of heat treatment of grain components in the technology of compound feeds. Voronezh: VSUIT. P. 336. (In Russ.).

4. Afanasyev, V.A. (2017). Energy- and resource-saving technologies of compound feeds. Voronezh: VSUIT. P. 473. (In Russ.).

5. Bunzel, D., Lemme, A. (2015). Technological and biological aspects of heat treatment of compound feeds. *Compound feed*. (12). 43-46. (In Russ.).

6. Spesivtsev, A.I. (2016). The process of mixing in the production of compound feeds. *Compound feed*. (3). 37-41. (In Russ.).

7. Tsvyrko, A.A. (2012). The current state and problems of the formation of an effective grain market. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences.* 1(1).19-23. (In Russ.).

8. Sokolov, M.S., Glinushkin, A.P., Toropova, E.Y., Borovaya, V.P., Bugaeva, L.N. (2015). Healthy soil - phytosanitary basis of non-pesticide crop production. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 48(12). 3-9.

9. Orlovtseva, O.A., Ignatenko, N.A., Kleimenova, N.L. (2016). Study of the influence of external conditions on the grain storage process. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 4 (70). 36-40. (In Russ.).

10. Tertychnaya, T.N., Shevtsov, A.A., Kulikov, S.S. (2021). Experimental and statistical analysis research of the triticale grain drying process when countercurrent-direct-flow blowing of the grain layer. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 82(4). 38-46.

11. Mellmann, Jochen & Weigler, Fabian & Scaar, Holger. (2019). Research on procedural optimization and development of agricultural drying processes. *Drying Technology*. 37(5). 569-578.

12. Ostrikov, A.N., Afanasyev, V.A., Manuilov, V.V. (2017). Development of a set of equipment for the production of cereal flakes for compound feeds. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex-healthy food products*. (1). 74-83. (In Russ.).

13. Seed. Method for determining humidity: (2015). HOST 13586.5-2015. from 1 July 2016. Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).

Information about the authors

I. S. Bogomolov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of TJ, PAHPP, Voronezh State University of Engineering Technologies.

N. L. Kleimenova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Management and TVB, Voronezh State University of Engineering Technologies.

M. V. Kopylov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of TJ, PAHPP, Voronezh State University of Engineering Technologies.

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

Статья поступила в редакцию 18.10.2021; одобрена после рецензирования 12.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 18 Oct 21; approved after reviewing on 12 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 20–26.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 20–26.

Научная статья
05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
УДК664.8.047
doi 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.003

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ЯГОДНО-ОВОЩНЫХ ВЫЖИМОК

Лариса Георгиевна Ермош [1], Константин Алексеевич Фадеев [2], Наталья Викторовна Присухина [3]

[1, 2, 3] Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
[1] 2921220@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0295-0777
[2] Konstantin.fadeev97@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3315-6362
[3] nat3701@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5737-9865

***Аннотация**. Промышленная переработка растительного сырья влечет за собой образование большого количества вторичных ресурсов, которые в настоящее время не всегда эффективно используются. Производство соков и напитков занимает важное место в переработке плодово-ягодного и овощного сырья. Соки из фруктов и овощей получают путем механического воздействия и консервирования. При производстве соков водорастворимые элементы (витамины, сахар, органические кислоты и т.д.) почти полностью переходят в сок, а нерастворимые элементы (пищевые волокна, часть минералов, пектиновые вещества, каротиноиды, липиды и т.д.) в большей своей части остаются в выжимках. Таким образом, выжимки – это натуральный побочный продукт с высоким содержанием биологически активных веществ. Ягодные и овощные выжимки в первую очередь являются источником пищевых волокон – компонентов, наиболее устойчивых ко всем видам обработки: механической (отжим сока), термической (сушка). Несмотря на это, их использование для обогащения пищевых продуктов ограничено. В данной статье представлены результаты моделирования ягодно-овощного состава на основе выжимок брусники и тыквы с целью достижения максимально высокой корреляции между органолептическими показателями и содержанием пищевых волокон.*

***Ключевые слова:** ягодные выжимки, овощные выжимки, моделирование рецептурного состава, пищевые волокна.*

Для цитирования: Ермош, Л. Г., Фадеев, К. А., Присухина, Н. В. Разработка рецептурных композиций с высоким содержанием пищевых волокон на основе ягодно-овощных выжимок // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 20–26. doi 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.003.

© Ермош, Л. Г., Фадеев, К. А., Присухина, Н. В., 2021

Original article

DEVELOPMENT OF PRESCRIPTION COMPOSITIONS WITH A HIGH CONTENT OF DIETARY FIBER BASED ON BERRY AND VEGETABLE POMACE

Larisa G. Yermosh [1], Konstantin A. Fadeev [2], Natalia V. Prisukhina [3]

[1, 2, 3] Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[1] 2921220@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0295-0777
[2] Konstantin.fadeev97@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3315-6362
[3] nat3701@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5737-9865

Abstract. *Industrial processing of vegetable raw materials entails the formation of a large number of secondary resources, which are currently not always effectively used. The production of juices and beverages occupies an important place in the processing of fruit and berry and vegetable raw materials. Juices from fruits and vegetables are obtained by mechanical action and canning. In the production of juices, water-soluble elements (vitamins, sugar, organic acids, etc. d.) almost completely pass into juice, and insoluble elements (dietary fiber, some minerals, pectin substances, carotenoids, lipids, etc.) for the most part remain in the pomace. Thus, pomace is a natural by-product with a high content of biologically active substances. Berry and vegetable pomace are primarily a source of dietary fiber - components that are most resistant to all types of processing - mechanical (juice extraction), thermal (drying). Despite this, their use for food fortification is limited. This article presents the results of modeling the berry-vegetable composition based on lingonberry and pumpkin pomace in order to achieve the highest possible correlation between organoleptic parameters and the content of dietary fiber.*

Keywords: *berry squeezes, vegetable squeezes, modeling of the recipe composition, dietary fiber.*

For citation: Yermosh, L. G., Fadeev, K. A., Prisukhina, N. V. (2021). Development of prescription compositions with a high content of dietary fiber based on berry and vegetable pomace. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 20-26 (In Russ.). doi 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.003.

ВВЕДЕНИЕ

Агропромышленный сектор представляет собой отходоемкую отрасль. Переработка основного сельскохозяйственного продукта связано с образованием большого количества отходов, в том числе тех, относительно которых имеется возможность и целесообразность использования или переработки (вторичных сырьевых ресурсов).

Создание соков и напитков занимает важную позицию в переработке плодово-ягодного и овощного сырья. Соки получают из плодов и овощей методом механического влияния и консервации физиологическими методами.

При производстве соков все составные водорастворимые составляющие (витамины, сахара, минеральные и пектиновые вещества) буквально всецело переходят в сок, а нерастворимые (клетчатка, каротиноиды, липиды и др.) в большей степени остаются в выжимках. Таким образом, выжимки – это натуральный побочный продукт с высоким содержанием многих эссенциальных нутриентов.

Фруктовое, ягодное и овощное сырье является одним из основных источников пищевых волокон, которые представлены пектином, клетчаткой и волокнистыми веществами. Хорошая адсорбция и антиоксидантная активность пищевых волокон помогает очищать организм от эндо- и экзотоксинов, предотвращая развитие различных заболеваний [1].

В Красноярском крае для изготовления соков широко используют районные сырьевые ресурсы, такие как морковь, свекла, тыква, брусника, клюква и другие, которые обладают высокими вкусовыми свойствам, богатым химическим составом, доступностью как для производителя соков, так и для потребителя.

В данной работе использовали тыквенные и брусничные выжимки и композиции на их основе. Тыква богата пектиновыми веще-

ствами, за счет чего может широко использоваться в производстве, как желирующее вещество. В 100 г мякоти содержится 7,2–8,4 г сахаров (моно- и дисахариды – 4,2 г, глюкоза – 2,6 г, сахароза – 0,5 г, крахмал и декстрины – 0,2 г и др.), витамины группы В, β-каротин (1,50 мг), клетчатки (1,2 г) и нитраты (11,4 мг); а также относительно много калия (204 мг), кремния (30 мг) и фосфора (25 мг) [2, 3, 4].

Брусника является дикорастущей ягодой Красноярского края, представляющая из себя ярко-красные многосемянные ягоды шаровидной формы. В 100 г ягод брусники содержится значительное количество моно- и дисахаридов (8,1 г) и пищевых волокон (2,5 г), 95 мг калия, 25 мг кальция, β-каротина (0,05 мг), витамина С (15 мг) и витамина Е (1 мг) [4, 5].

В научной литературе имеются данные по использованию выжимок в производстве различных напитков в виде обогащающих добавок для различных пищевых продуктов [5, 6, 7, 8, 9]. Однако в этом вопросе имеется большой потенциал для научных исследований.

Целью данной работы является моделирование рецептурных составов различных видов овощных и ягодных выжимок с целью получения функциональных добавок для обогащения пищевых продуктов. Конкретно в данной статье представлены результаты моделирования рецептурного состава тыквенно-брусничной массы из отходов производства соков.

На данном этапе работы решались такие задачи, как разработка различных композиций выжимок из тыквы и брусники, оценка органолептических показателей, определение качественных показателей и пищевой ценности всех видов композиций, оптимизация рецептурного состава по содержанию пищевых волокон.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были тыква свежая (ГОСТ 7975-2013) и брусника (ГОСТ 20450-2019). Схема производства лабораторных образцов предусматривает осмотр указанных видов ягод и овощей, промывку, очистку корнеплодов, получение сока из каждого вида сырья отдельно. Далее – сочетание ягодных и овощных выжимок в различных пропорциях на основе процесса моделирования. В работе были использованы основные физико-химические и органолептические методы исследования. Оценка органолептических показателей полученных масс проводилась по 5-балльной шкале. Содержание сухих веществ в выжимках определяли по ГОСТ 28561-90, пектина и клетчатки в соответствии с ГОСТ 32223-2013 и ГОСТ Р 54014-2010, а также витамина С, каротиноидов, железа и кальция в соответствии с ГОСТ 24556-89, ГОСТ 54058-2010, ГОСТ 26928-86 и ГОСТ 26570-95.Моделирование, статистический и регрессионный анализ экспериментальных данных проводили с помощью программы *Statistica 6*. Разницу при сравнении средних значений считали достоверной на уровне значимости 95 % ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлено содержание сухих веществ тыквенных и брусничных выжимок.

Из полученных выжимок были сформированы композиции в различных пропорциях и проведена органолептическая оценка (таблица 1).

Общая органолептическая оценка качества представлена на рисунке 2.

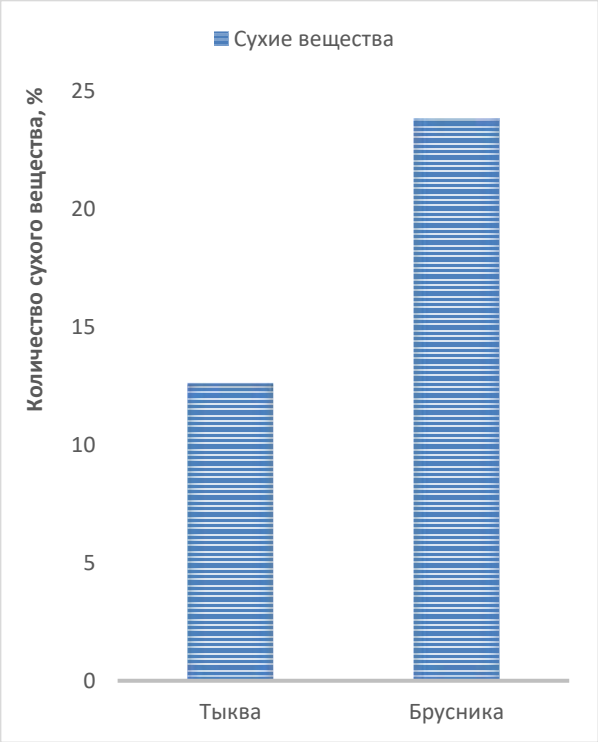


Рисунок 1 – Содержание сухих веществ в исследуемых выжимках, %

Figure 1 - The content of dry matter in the studied pomace, %

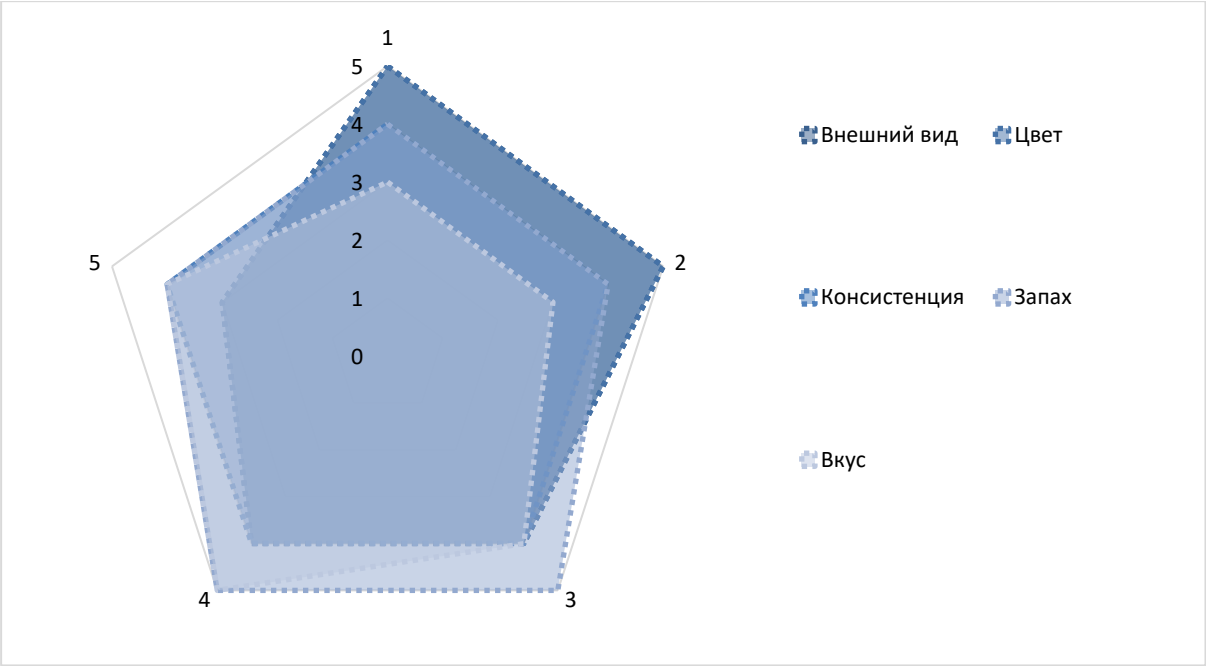


Рисунок 2 – Органолептическая оценка тыквенно-брусничной композиции

Figure 2 - Sensory evaluation pumpkin-lingonberry composition

Таблица 1 – Композиции из комбинированных видов выжимок

Table 1 - Compositions from combined types of pomace

Композиции	Тыквенные выжимки, %	Брусничные выжимки, %	Органолептические показатели
№ 1	70	30	Неоднородная масса, насыщенный оранжевый цвет, сладкий вкус, приятный аромат тыквы
№ 2	60	40	Неоднородная масса, оранжевый цвет с красными вкраплениями, менее сладкий вкус с преобладанием тыквенного аромата
№ 3	50	50	Неоднородная масса, насыщенный розовый цвет, кисло-сладкий вкус, приятный аромат
№ 4	40	60	Неоднородная масса, насыщенный розовый цвет, приятный кисло-сладкий вкус с брусничным ароматом
№ 5	30	70	Неоднородная масса, более красный цвет, излишне кислый вкус, выраженный аромат брусники

Анализ показал, что образцы № 3 и 4 (в соотношениях 50:50 и 40:60) имели самую высокую оценку 4,8–5,0 баллов.

Во всех композициях определяли содержание наиболее значимых биологически активных веществ, в том числе пектина и клетчатки (рисунки 3-4).

Из рисунка 3 видно, что количественный состав клетчатки с повышением доли брусничных выжимок повышается и достигает максимально высокого значения при соотношении 30:70. количество пектина, наоборот, снижается и достигает минимального значения при соотношении 30:70.

Количество витамина С незначительно увеличивается при повышении доли брусничных выжимок, а каротин, железо, кальций (рисунок 4) в композициях изменяется незначительно в сторону уменьшения этих показателей.

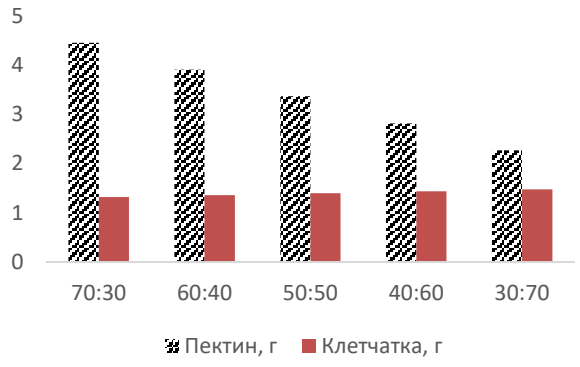


Рисунок 3 – Содержание пектина и клетчатки в различных композициях выжимок, г

Figure 3 - The content of pectin and fiber in various compositions of pomace, g

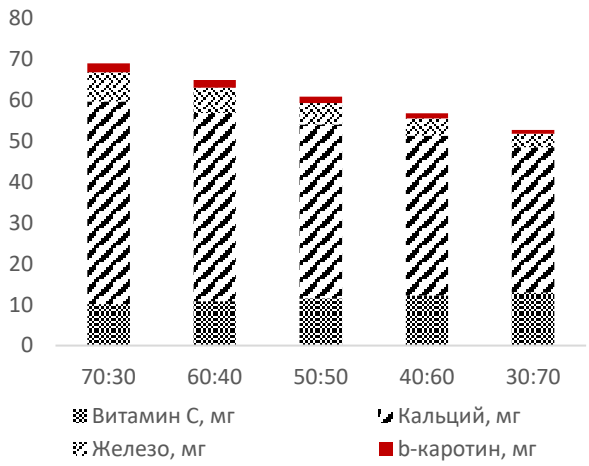


Рисунок 4 – Содержание других видов БАВ в различных композициях выжимок, мг/%

Figure 4 - Content of other types of biologically active substances in various compositions of pomace, mg /%

Так как выжимки, прежде всего, являются источником пищевых волокон – наиболее устойчивых компонентов ко всем видам обработки, то определяли оптимальное соотношение ингредиентов относительно органолептических показателей и содержания пищевых волокон.

С целью определения оптимального соотношения был проведен регрессионный анализ экспериментальных данных. Зависимыми переменными являлись количественные составляющие: Y_1 – содержание овощных выжимок, Y_2 – содержание ягодных выжимок. Независимыми переменными – органолептические показатели: внешний вид (X_1), цвет (X_2), вкус (X_3), консистенция (X_4), содержание клетчатки (X_5) и пектина (X_6).

Уравнения регрессии для данной композиции имеют вид:

внешний вид, цвет $Y_1 = 107,327 + 4,09 X_1 - 19,53 X_2$
$Y_2 = - 7,33 - 4,09 X_1 + 19,53 X_2$

вкус, консистенция $Y_1 = - 17,62 - 23,38 X_3 + 34,35 X_4$
$Y_2 = 117,63 + 23,38 X_3 - 34,35 X_4$

содержание клетчатки, пектина $Y_1 = - 33,628 + 5,0172X_5 + 13,226X_6$
$Y_2 = 133,6285 - 5,0172X_5 – 13,2176 X_6$

Зависимость между анализируемыми показателями носит линейный характер.

Минимальные и максимальные пределы функций были установлены на основании экспериментальных данных. Неравенства получили следующую форму:

Масса тыквенно-брусничная

$30,0 \le Y_1' ' \le 50,0$

$50,0 \le Y_2'' \le 70,0$

Значения варьируемых компонентов

$4,5 \le X_1'' \le 5,0$

$4,5 \le X_2'' \le 5,0$

$4,5 \le X_3'' \le 5,0$

$4,5 \le X_4'' \le 5,0$

$0,57 \le X_5'' \le 0,89$

$2,48 \le X_6'' \le 2,72$

На основании разработанных математических моделей было определено оптимальное соотношение рецептурных компонентов тыквенно-брусничной массы по выбранным показателям, которое составило 50,82:49,18.

ВЫВОДЫ

Среди перспективных видов дополнительного сырья для предприятий пищевой промышленности практический интерес представляют вторичные сырьевые ресурсы, в частности, отходы соковых производств. Несмотря на то, что их использование в виде добавок для различных пищевых продуктов расширяется, в этом вопросе имеется большой потенциал для научных исследований, так как этот вид сырья является важным источником пищевых волокон, витаминов, минеральных и других веществ

Одним из рациональных способов переработки ягодно-овощных выжимок является комбинирование ягодного вторичного сырья с овощными выжимками, уступающими по вкусу, запаху, востребованности. В данной рабо-

те представлены варианты тыквенно-брусничных композиций, определены оптимальные соотношения рецептурных компонентов: 50,82:49,18.

При этих пропорциях наблюдается наибольшая корреляция между органолептическими показателями и содержанием пищевых волокон.

Тыквенно-брусничная масса имеет насыщенный розовый цвет, приятный кисло-сладкий вкус, легкий аромат брусники.

Данную массу планируется использовать как вкусовой и обогащающий наполнитель для различных видов хлебобулочных изделий, напитков и других пищевых продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Броновец И.Н. Пищевые волокна – важная составляющая сбалансированного здорового питания / И.Н. Броновец // Медицинские новости. 2015. № 10. С. 46–48.

2. Бисчокова Ф.А. Применение продуктов переработки тыквы припроизводстве новых видов хлеба / Ф.А. Бисчокова, Л.З. Бориева, И.Б. Шогенова // Успехи современной науки. 2017. № 11. С. 81–84.

3. Ерин И.В. Разработка элементов технологии выращивания тыквы для получения масло-семян: автореф. дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.01 / И.В. Ерин; [Место защиты: Дон. гос. аграр. ун-т]. п. Персиановский, 2012.

4. Химический состав российских пищевых продуктов : Справочник / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. ДеЛипринт, 2002. 236 с.

5. Кольман О.Я. Новые виды мучных кондитерских изделий для учащихся общеобразовательных учреждений Красноярского края / О.Я. Кольман, Г.В. Иванова // Здоровье для всех : сборник статей V Международной научно-практической конференции ; редколлегия: К.К. Шебеко [и др.]. 2013. С. 259–262.

6. Способ производства экстракта для безалкогольного напитка : пат. 2692643 Рос. Федерация; заявл. 01.10.2018; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 18.

7. Величко Н.А. Выжимки голубики обыкновенной как ингредиент мучных кондитерских изделий / Н.А. Величко, З.Н. Берикашвили // Вестник КрасГАУ. 2015. № 4. С. 59–62.

8. Присухина Н.В. Клюквенные полуфабрикаты из отходов сокового производства / Н.В. Присухина, Н.Н. Типсина, А.Е. Туманова // Пищевая промышленность. 2014. № 4. С. 44–45.

9. Лёвкина Т.Ф. Местное растительное сырье как источник биологически активных добавок и его использование в производстве безалкогольных напитков / Т.Ф. Левкина, О.В. Гоголева // Материалы межд. конф. «Молодежь и наука : проспект Свободный 2015». Красноярск, СФУ. 2015.

Информация об авторах

Л. Г. Ермош – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств» Красноярского государственного аграрного университета.

К. А. Фадеев – аспирант кафедры «Технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств» Красноярского государственного аграрного университета.

Н. В. Присухина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств» Красноярского государственного аграрного университета.

REFERENCES

1. Bronovets, I.N. (2015). Dietary fiber - an important component of a balanced healthy diet. *Medical news*, (10), 46-48. (In Russ.).

2. Bischokova, F.A., Borieva, L.Z.& Shogenova, I.B. (2017). Application of pumpkin processing products in the production of new types of bread. *Advances in modern science*, (11), 81-84. (In Russ.).

3. Erin, I.V. (2012). Development of technology elements for growing pumpkin for oilseed production: abstract of thesis. candidate Dissertation: p. Persianovsky, (In Russ.).

4. The chemical composition of Russian food products: Handbook (2002). Edited by Corr. Member. MAI, prof. I.M. Skurikhin and academician of the Russian Academy of Medical Sciences, prof. V.A. Tutelyana. Moscow: DeLiprint. (In Russ.).

5. Kolman, O.Ya & Ivanova, G.V. (2013). New types of flour confectionery products for students of general educational institutions of the Krasnoyarsk Territory. Health for all Collection of articles of the V International scientific-practical conference. Editorial board: K.K. Shebeko [and others].P. 259-262. (In Russ.).

6. Kachaeva, N. Yu., Stribizheva, L. I. & Gusev, P. V. (2019). Method for the production of an extract for a non-alcoholic beverage: US *Pat. 2692643 Rus. Federation; declared*

10/01/2018; publ. 06/25/2019, Bul. (18). (In Russ.).

7. Velichko, N.A. & Berikashvili, Z.N. (2015). Common blueberry pomace as an ingredient in flour confectionery products. *Bulletin of KrasGAU*, (4), 59-62. (In Russ.).

8. Prisukhina, N.V., N.N., Tipsina & A.E., Tumanova (2014) Cranberry semi-finished products from juice production waste. *Food industry*, (4), 44-45. (In Russ.).

9. Lyovkina, T.F. & Gogolev, O.V. (2015). Local plant raw materials as a source of biologically active additives and its use in the production of soft drinks. *Materials of the international conference. "Youth and Science: Svobodny Avenue 2015*". Krasnoyarsk, Siberian Federal University. (In Russ.).

Information about the authors

L. G. Ermosh - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technologies of Bakery, Confectionery and Macaroni Production, Krasnoyarsk State Agrarian University.

K. A. Fadeev - post-graduate student of the Department of "Technology of bakery, confectionery and macaroni production" of the Krasnoyarsk State Agrarian University.

N. V. Prisukhina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies of Bakery, Confectionery and Macaroni Production, Krasnoyarsk State Agrarian University.

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

Статья поступила в редакцию 13.10.2021; одобрена после рецензирования 30.11.2021; принята к публикации 03.12.2021.

The article was received by the editorial board on 13 Oct 21; approved after reviewing on 30 Nov 21; accepted for publication on 3 Dec 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 27–34 .
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 27–34.

Научная статья
05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
УДК 637.514.9: 637.521.473
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.004

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФАРШЕВЫХ СИСТЕМ ИЗ МЯСА КУРИЦЫ И ГОВЯЖЬЕГО ЯЗЫКА С РАСТИТЕЛЬНЫМ СЫРЬЕМ

Марина Александровна Вайтанис [1], Зоя Рафаиловна Ходырева [2], Вера Александровна Быкова [3], Гульнара Токеновна Жуманова [4]

[1, 2] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[1, 2, 3] Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
[4] НАО «Университет им. Шакарима города Семей», Семей, Республика Казахстан

[1] gazenauer@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5012-6304
[2] rafailovna-1977@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6459-0271
[3] bva.geo78@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8927-6219
[4] G-7290@mail.ru, https:// orcid.org/0000-0003-1785-2739

Аннотация. *Мясные продукты присутствуют в рационе питания каждого человека, поскольку содержат полноценные животные белки, отличающиеся сбалансированным аминокислотным составом, уникальным составом нутриентов, и могут удовлетворить суточную потребность организма в необходимых питательных веществах. Перед индустрией питания и мясоперерабатывающими предприятиями стоит задача: удовлетворение растущих потребностей со стороны потенциальных потребителей и расширение имеющегося ассортимента.*

Учитывая популярность и необходимость для организма человека мясных изделий, целью работы явилась разработка рецептурных композиций мясорастительных фаршей на основе мяса курицы и говяжьего языка с внесением растительного компонента в виде фасоли отварной и нутовой муки. Для реализации поставленной цели была проведена оценка органолептических и функционально-технологических показателей мясорастительных фаршей с добавлением бобовых культур в сравнении с контролем. Внесение растительного сырья в виде бобовых культур в фарш на основе мяса курицы и говяжьего языка оказывает влияние на влагосвязывающую, влагоудерживающую способности, pH и адгезию. Повышение влагоудерживающей и влагосвязывающей способности при внесении бобовых культур является закономерным и существенным. Внесение растительных компонентов в фаршевую систему способствует к увеличению липкости фаршевой системы. Высокие значения адгезии отрицательно сказываются на органолептических показателях готовых изделий, а также приводят к большим потерям при производстве полуфабрикатов за счёт прилипания фарша к технологическому оборудованию. Рекомендовано внесение фасоли отварной и нутовой муки в фаршевую систему на основе мяса курицы и говяжьего языка в количестве 15 %.

Ключевые слова: *мясо курицы, говяжий язык, мясорастительный фарш, фасоль отварная, нутовая мука, 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: *Исследование свойств фаршевых систем из мяса курицы и говяжьего языка с растительным сырьем / М. А. Вайтанис [и др.].* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 27–34. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.004.

© Вайтанис, М. А., Ходырева, З. Р., Быкова, В. А., Жуманова, Г. Т., 2021

Original article

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF MINCED SYSTEMS OF CHICKEN MEAT AND BEEF TONGUE WITH VEGETABLE RAW MATERIALS

Marina A. Vaitanis [1], Zoya R. Khodyreva [2], Vera A. Bykova [3], Gulnara T. Zhumanova [4]

[1, 2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[1, 2, 3] Altai State University, Barnaul, Russia
[4] NAO "University named after Shakarima of the city of Semey", Semey, Republic of Kazakhstan

[1] gazenauer@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5012-6304
[2] rafailovna-1977@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5012-6304
[3] bva.geo78@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5012-6304
[4] G-7290@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1785-2739

Abstract. *Meat products are present in the diet of every person, because they contain full-fledged animal proteins, characterized by a balanced amino acid composition, a unique composition of nutrients and can satisfy the daily need of the body for the necessary nutrients. The task facing the food industry and meat processing enterprises is to meet the growing needs of potential consumers and expand the available assortment.*

Taking into account the popularity and necessity of meat products for the human body, the aim of the work was to develop recipe compositions of minced meat based on chicken meat and beef tongue with the introduction of a vegetable component in the form of boiled beans and chickpea flour. To achieve this goal, an assessment of the organoleptic and functional-technological indicators of minced meat with the addition of legumes was carried out in comparison with the control. The introduction of vegetable raw materials in the form of legumes into minced meat based on chicken and beef tongue has an effect on moisture binding, moisture retention, pH and adhesion. The increase in moisture-retaining and moisture-binding capacity when applying legumes is natural and significant. The introduction of plant components into the stuffing system contributes to an increase in the stickiness of the stuffing system. High adhesion values negatively affect the organoleptic characteristics of finished products, and also lead to large losses in the production of semi-finished products, due to the adhesion of minced meat to technological equipment. It is recommended to add boiled beans and chickpea flour to the stuffing system based on chicken meat and beef tongue in an amount of 15%.

Keywords: *chicken meat, beef tongue, minced meat, boiled beans, chickpea flour, 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: Vaitanis, M. A., Khodyreva, Z. R., Bykova, V. A. & Zhumanova, N. T. (2021). Investigation of the properties of minced systems from chicken meat and beef tongue with vegetable raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 27-34. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.004.

Разнообразные мясные продукты присутствуют в рационе питания каждого человека. Мясные полуфабрикаты выпускаются в широком ассортименте и пользуются повышенным спросом у разных групп населения [1].

Расширение ассортимента мясных рубленых полуфабрикатов осуществляется также за счет комбинирования различного мясного сырья с растительными компонентами. Известно применение различного сырья в рецептуры мясных полуфабрикатов, такие как соевый изолят, бобовые и зерновые культуры, различные виды клетчаток, порошок топинамбура, ягодные выжимки, капуста брокколи и др. [2–7].

Производство полуфабрикатов из мяса птицы считается одним из перспективных направлений, поскольку производство и по-

требление данной продукции растет в два раза быстрее, чем продукция из мяса говядины, и почти в два с половиной раза, чем из свинины. Сейчас в рационе питания жителей России на долю мяса птицы приходится от 30 до 35 % от всего его объема [1].

Цель исследования. Разработка рецептур мясорастительных фаршей на основе мяса курицы в сочетании с говяжьим языком с добавлением бобовых культур и оценка органолептических и функционально-технологических свойств.

Задачи исследования:

- разработать рецептурные композиции мясорастительного фарша на основе мяса курицы в сочетании с говяжьим языком и бобовыми культурами;
- оценить качество образцов модельных фаршей на основе мяса курицы и говяжьего языка с растительным сырьем в сопоставлении с контрольным образцом, выработанным по рецептуре, с добавлением хлеба пшеничного;
- установить дозу внесения бобовых культур, позволяющую обеспечить наилучшие показатели качества фаршевой системы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования был мясорастительный фарш из курицы с говяжьим языком и бобовыми культурами (экспериментальные образцы). В исследованиях использовали фасоль продовольственную, по качеству соответствующую требованиям ГОСТ 7758-75 [8] и муку нутовую (производитель «Гарнец» по ТУ 9293-009-89751414-10). Сырье, используемое для приготовления мясорастительного фарша на основе мяса курицы в сочетании с говяжьим языком и бобовыми культурами, соответствует требованиям нормативно-технической документации, ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 034/2013 [9, 10].

Определение влагоудерживающей способности (ВУС) проводили с помощью молочного жиромера, влагосвязывающей способности (ВСС) – методом прессования, pH – потенциометрическим методом, адгезию – с помощью лабораторной установки по С. Тышкевичу [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование проводилось по заявке предприятия ООО «Магия еды» (г. Барнаул) для разработки новых рецептур рубленых полуфабрикатов и расширения имеющегося ассортимента. С этой целью был исследован ассортиментный перечень уже реализуемой продукции в условиях производства с учетом технической оснащенности и производственных мощностей. Данное предприятие производит продукцию из мяса говядины, свинины, марала, курицы и индейки. В ассортименте представлены пельмени, манты, вареники, голубцы, зразы, котлеты, тефтели, фрикадельки, шашлыки, антрекоты и блинчики фаршированные.

Помимо вырабатываемых на предприятии полуфабрикатов в продажу поступает мясное сырье, в частности субпродукты, однако, анализируя ассортиментный перечень, можно отметить, что при производстве полуфабрикатов субпродукты почти не используют. Исключения составляют блинчики с печенью, их производство позволяет повысить спрос на данную товарную единицу. Стоит отметить перспективной разработку полуфабрикатов с использованием других субпродуктов, в частности говяжьего языка, в качестве расширения ассортимента, а также увеличения товарооборота данного сырья. Спрос на субпродукт – говяжий язык – подтверждается в ходе ранее проведенного социологического исследования. Помимо этого, предприятие заинтересовано в разработке и реализации новой продукции, отличающейся высоким качеством, сохраняющим консистенцию и структуру полуфабрикатов при хранении, обогащению продуктов белком и другими нутриентами, повышению выхода готовой продукции. Реализовать поставленные задачи можно путем внесения растительных компонентов в мясные системы.

В качестве основного сырья для производства рубленых изделий было выбрано мясо курицы. Оно содержит небольшое количество соединительной ткани, что обуславливает нежную консистенцию готовых изделий, высокую перевариваемость и усвояемость – порядка 96 %. Соотношение незаменимых аминокислот близко к оптимальному, особенно ценно содержание метионина [13–15]. Кроме того, мясо курицы богато витаминами группы В, витамином Н, РР и минеральными веществами – фосфором, кобальтом, селеном, хромом и цинком [12].

Для разработки новой рецептуры был выбран субпродукт – говяжий язык, отличающийся повышенной пищевой ценностью, относящийся к I категории субпродуктов и характеризующийся более высокими вкусовыми достоинствами по сравнению с субпродуктами II категории. По показателю пищевой ценности говяжий язык незначительно уступает мясу говядины первого сорта. Говяжий язык в

количестве 100 г восполняет суточную потребность человека в белках (26,0 %) и жирах (27,0 %), в витамине B_{12}, а также на 30 % покрывается необходимость в витамине PP. Также он богат железом и цинком [12].

Для разработки рецептуры мясорастительного полуфабриката использовали бобовые культуры: фасоль отварную и нутовую муку. Бобовые культуры содержат большое количество растительного белка и пищевые волокна, благотворно влияющие на функционирование организма.

При разработке рецептуры мясорастительных изделий из рубленого фарша не стоит забывать о структурно-механических свойствах. Бобовые культуры хорошо связывают влагу и жир в готовой фаршевой системе, что позволяет контролировать структуру фарша за счет внесения определенного количества растительного компонента. Таким образом, разработка рецептуры мясорастительных изделий из куриного фарша в сочетании с говяжьим языком и растительным компонентом (фасоль отварная; нутовая мука) обеспечит увеличение биологической и пищевой ценности и улучшит качество выпускаемых мясорастительных изделий [15, 16].

Фасоль содержит белок – 21,0 %, жиры – 2,0 %, углеводы – 47,0 %, пищевые волокна – 12,4 %. Бобы фасоли содержат витамины: B_1, B_5, B_6, B_9, PP; минеральные вещества: калий, кальций, магний, фосфор, железо, медь, селен и цинк [12].

Нутовая мука содержит белок – 22,4 %, жиры – 6,7 %, углеводы – 47,0 %, пищевые волокна – 10,8 %. Мука богата витаминами группы В, минеральными веществами: калием, магнием, фосфором, железом, марганцем, медью, селеном и цинком [12].

В лабораторных условиях были разработаны две группы модельных образцов фаршей, рецептура которых включала замену до 30 % мясной части на растительный компонент (фасоль, предварительно термически обработанная и протертая и нутовая мука). Следует отметить тот факт, что фасоль, как и все бобовые культуры, содержит ингибиторы трипсина, а также такие токсичные вещества, как цианоген, сапониты, алкалоиды [13–15]. Они отрицательно воздействуют на организм, поэтому для их удаления проводятся длительное замачивание и термическая обработка фасоли. Эти процессы были учтены при производстве фарша.

Соответственно, для проведения исследования было подготовлено 12 экспериментальных образцов, которые оценивали по органолептическим и функционально-технологическим показателям в сравнении с контрольным образцом (с добавлением хлеба пшеничного). Замена пшеничного хлеба связана в первую очередь с тем, что он содержит глютен, в то время как в бобовых культурах он полностью отсутствует, что позволит использовать полученный фарш и выработанные из него различные изделия при безглютеновой диете [15].

От количества белка, растворенного в воде, зависит такой показатель, как липкость фарша. Благодаря липкости изделия из фарша хорошо формуются. Высокие значения адгезии фаршевой системы при контакте с технологическим оборудованием приводят к прилипанию фарша и в последующем усложняются процессы формирования изделий и осуществление термической обработки при контакте с жарочной поверхностью оборудования. На рисунке 1 изображена зависимость показателя адгезии от количества и вида вносимого растительного сырья.

Из графика 1 видно, что с внесением фасоли в фаршевую систему показатель адгезии в сравнении с контрольным образцом начинает возрастать и достигает максимума при внесении 15 % растительного компонента. Данную зависимость можно объяснить тем, что фасоль способна поглощать большее количество свободной влаги. Помимо этого, увеличиваются внутримолекулярные связи между частицами фарша и полисахаридами фасоли. Значения показателя адгезии существенно уменьшаются в интервале от 20 % до 30 %. Свободной влаги в фаршевой системе становится меньше, соответственно липкость фарша уменьшается, плотность увеличивается, структура образцов становится менее пластичной.

Внесение растительного сырья в фаршевую систему в виде нутовой муки способствует увеличению липкости фаршевой системы. При данной ситуации стоит отметить, что повышение липкости модельных фаршей отрицательно сказывается на органолептических показателях готовых изделий, а также приводит к большим потерям при производстве полуфабрикатов за счёт прилипания фарша к технологическому оборудованию. Поскольку количество удерживаемой влаги в фарше играет большую роль в производстве рубленых мясных изделий, целесообразно определение зависимости показателей влагосвязывающей (ВСС) и влагоудерживающей (ВУС) способности комбинированных фаршей от количества и вида вносимого растительного сырья (рисунки 2–3).

Из графика 2 видно, что ВСС образца модельных фаршей при внесении фасоли в количестве 5 % незначительно уступает значению ВСС контрольного образца, а образец с нутовой мукой выше. Дальнейшее внесение растительных компонентов приводит к увеличению данного показателя, и максимальные значения отмечаются у образцов модельных фаршей при 30 % внесения фасоли и нутовой муки. При сравнении значений показателя ВСС между образцами модельных фаршей стоит отметить, что образцы с добавлением нутовой муки выше, чем с фасолью.

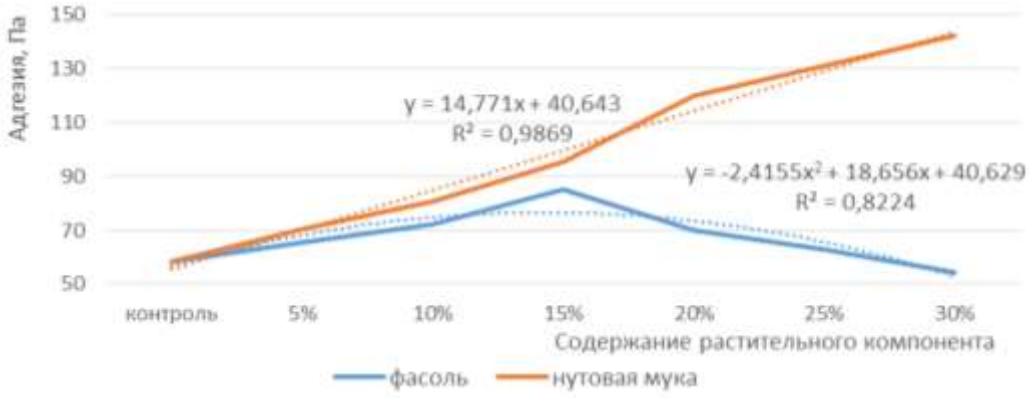


Рисунок 1 – Зависимость адгезии от количества и вида вносимого растительного компонента

Figure 1 - Dependence of adhesion on the amount and type of plant component applied

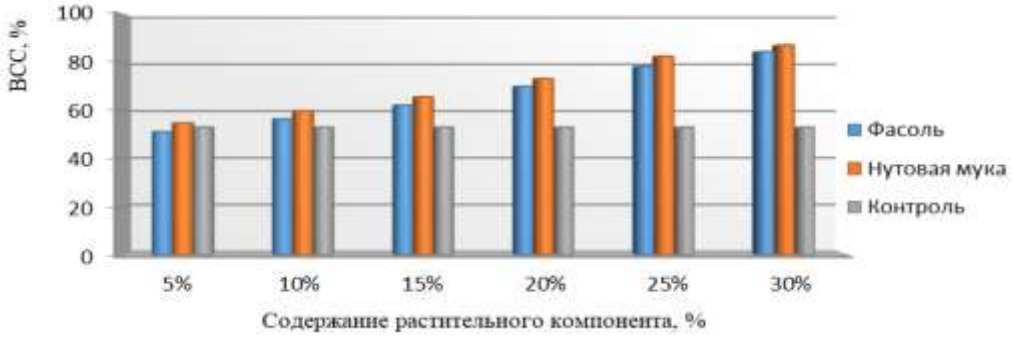


Рисунок 2 – Зависимость ВСС фаршей от количества и вида внесенного растительного сырья

Figure 2 - Dependence of the BCC of minced meat on the amount and type of vegetable raw materials introduced

На сочность изделий, а также выход готовой продукции, оказывает влияние показатель ВУС. Существенной разницы в показателях ВУС между видом растительного компонента не наблюдается, однако строит отметить, что внесение в фарш нутовой муки позволяет увеличить влагоудерживающую способность в среднем на 8 % в сравнении с фасолью отварной (рисунок 3). Образцы с добавлением в фарш фасоли отварной в количестве 10 % и более превосходят показатели ВУС контрольного образца, по нутовой муке такая динамика отмечается при 5 % и более.

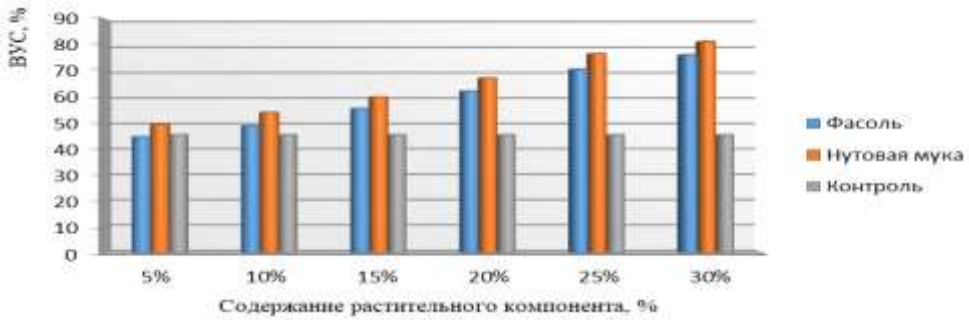


Рисунок 3 – Зависимость ВУС фаршей от количества и вида вносимого растительного сырья

Figure 3 - Dependence of the VUS of minced meat on the amount and type of vegetable raw materials introduced

На рисунке 4 представлены показатели pH фаршей в зависимости от количества и вида вносимого растительного компонента.

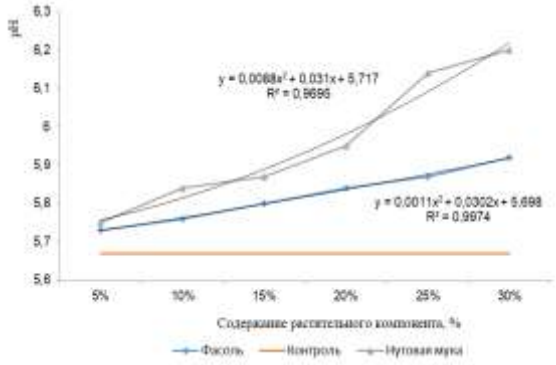


Рисунок 4 – Показатели pH фаршей в зависимости от количества и вида вносимого растительного сырья

Figure 4 - pH values of minced meat depending on the amount and type of vegetable raw materials introduced

Из графика 4 видно, что при внесении растительного сырья (от 10 % до 30 %) увеличивается показатель pH фаршей в сравнении с контролем. Динамика изменения pH среды отмечается при внесении фасоли отварной в диапазоне от 0,09 до 0,25 ед., по нутовой муке от 0,12 до 0,59 ед. в сравнении с контрольным образцом.

ВЫВОДЫ

Разработаны рецептурные композиции мясорастительного фарша на основе курицы в сочетании с говяжьим языком и бобовыми культурами и проведена оценка органолептических и функционально-технологических показателей фаршевых моделей в сравнении с контрольным образцом, выработанным по рецептуре, с добавлением хлеба пшеничного.

Установлено количество внесения растительного компонента в фаршевую систему на основе мяса курицы в сочетании с языком говяжьим. По оцениваемым показателям качества фаршевой системы наилучшие результаты отмечаются при добавлении 15 % фасоли отварной и нутовой муки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрунина И.В., Осянин Д.Н. Перспективы развития производства мяса и мясных продуктов до 2030 года / И.В. Петрунина, Д.Н. Осянин // Все о мясе. 2020. № 5S. С. 261–264. DOI: https://doi.org/10.21323/2071–2499–2020–5S-261-264.

2. 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.

3. Борисенко Л.А., Брацихин А.А., Борисенко А.А. [и др.]. Новые виды мясорастительных полуфабрикатов на основе злаковых культур // Пищевая промышленность. 2009. № 10. С. 16–17.

4. Коновалов К.Л. Растительные ингредиенты в производстве мясных продуктов // Пищевая промышленность. 2006. № 4. С. 68–69.

5. Брошко Д.В., Велично 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.

6. 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.

7. Вайтанис М.А. Исследование качества мясного фарша при внесении чечевичной и рисовой муки // Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 32–37. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.02.007.

8. ГОСТ 7758 – 75. Фасоль продовольственная. Технические условия. Введ. 1976.07.01. Москва : Стандартинформ, 2010. 8 с.

9. О безопасности пищевой продукции: технический регламент таможенного союза № 021/2011: принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880. Москва : Изд-во стандартов, 2011. 242 с.

10. О безопасности мяса и мясной продукции: технический регламент таможенного союза 034/2013: принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 октября 2013 года № 68. Москва: Изд-во стандартов, 2013. 56 с.

11. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. М. : Колос, 2001. 376 с.

12. Химический состав российских продуктов питания: Справочник / И.М. Скурихин, В.А. Тутельян. М. : ДеЛипринт, 2002. 236 с.

13. Development of Sausages Containing Mechanically Deboned Chicken Meat Hydrolysates / S.K. Jin, J.S. Choi, Y.J. Choi // Journal of Food Science, 2015. Vol. 80. Issue 7. P. 1563–1567. DOI 10.1111/1750-3841.129.20. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1750-3841.12920 (дата обращения: 08.09.2020).

14. 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).

15. Кочергина Н.В., Вайтанис М.А., Ходырева З.Р. Обоснование использования комбинации субпродуктов и растительного сырья при производстве мясных изделий // Пищевые инновации и биотехнологии : сборник тезисов IX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Том 1. Технологии пищевых производств, качество и безопасность / Под общ. ред. А.Ю. Просекова; ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». Кемерово, 2021. С. 202–204.

16. Legumes as a sustainable source of protein in human diets / R.D. Semba [et al.] // Global Food Security. 2021. Vol. 28.100520. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100520.

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.

В. А. Быкова – кандидат географических наук, доцент кафедры «Рекреационной географии, сервиса, туризма и гостеприимства» Алтайского государственного университета.

Г. Т. Жуманова – докторант кафедры «Технология пищевых производств и биотехнология» НАО Университета им. Шакарима города Семей», республика Казахстан.

REFERENCES

1. 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.

2. 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.).

3. Borisenko, L.A., Bratsikhin, A.A. & Borisenko, A.A. [et al.]. (2009). New types of meat-growing semi-finished products based on cereals. Food industry. (10), 16-17. (In Russ.).

4. Konovalov, K.L. (2006). Vegetable ingredients in the production of meat products. Food industry. (4), 68-69. (In Russ.).

5. 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.

6. 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.

7. Vaitanis, M.A. Investigation of the quality of minced meat when applying lentil and rice flour // Polzunovskiy vestnik. 2019. No. 2. pp. 32-37. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.02.007.

8. Food beans. Technical conditions. (2010). HOST 7758–75 from 01 July 1976. Moscow: Standartinform, (In Russ.).

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

10. On the safety of meat and meat products. (2013). TRTS No.034/2013 from October 9, 2013. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

11. Antipova, L.V., Glotova, I.A. & Rogov, I.A. (2001). Methods of research of meat and meat products. Moscow: Kolos. (In Russ.). Skurihin, I.M. & Tutel'yan, V.A. (2002). Chemical composition of Russian food products: Handbook. Moscow: DeLiprint. (In Russ.).

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

13. Jin, S.K., Choi, J.S. & Choi, Y.J. (2015). Development of Sausages Containing Mechanically Deboned Chicken Meat Hydrolysates. Journal of Food Science, 80 (7). 1563-1567. (In Russ.). DOI 10.1111/1750-3841.129.20.

14. 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. (In Russ.). DOI 10.1111/jfpp.13940.

15. Kochergina, N.V., Vaitanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2021). Substantiation of the use of a combination of offal and vegetable raw materials in the production of meat products. Food innovations and biotechnologies: collection of abstracts of the IX International Scientific Conference of Students, postgraduates and young scientists. Volume 1. Technologies of food production, quality and safety under the general editorship of A.Y. Prosekov; Kemerovo State University. Kemerovo, 202-204. (In Russ.).

16. Semba, R.D. & [et al]. (2021). Legumes as a sustainable source of protein in human diets. Global Food Security. (28), 100520. (In Russ.). doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100520.

Information about the authors

M. A. Vaitanis - *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.

V. A. Bykova - Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of "Recreational geography, service, tourism and hospitality" of the Altai state University.

G. T. Zhumanova - PhD doctoral student of the Department of "Food Production Technology and Biotechnology" of the NAO University named after Shakarima of the city of Semey", Republic of Kazakhstan.

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

Статья поступила в редакцию 13.10.2021; одобрена после рецензирования 12.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 13 Oct 21; approved after reviewing on 12 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 35–40.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 35–40.

Научная статья
05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
УДК 664: 001.895
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.005

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВЛЕНОГО СЫРА

Сергей Алексеевич Бредихин [1], Владимир Николаевич Андреев [2], Александр Николаевич Мартеха [3], Юрий Михайлович Березовский [4]

[1, 2, 3] Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[4] Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия

[1] bredihin2006@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6898-0389
[2] andr64.64@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4890-379X
[3] man6630@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0002-7380-0477
[4] birjuza1@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1002-2580

Аннотация. *Реологические измерения весьма актуальны в пищевой промышленности как инструмент для физической характеристики сырья перед переработкой, для промежуточных продуктов в процессе производства и для готовых пищевых продуктов. Цель данного исследования заключалась в определении влияния температуры и химического состава на реологические характеристики плавленого сыра, а также в измерении кажущейся вязкости продукта во время охлаждения и в процессе обработки. Для определения кажущейся вязкости был использован ротационный вискозиметр. Кажущуюся вязкость плавленого сыра определяли при 50, 60, 70, 80 и 90 °С до затвердевания продуктов, когда образцы продукта все еще находились в состоянии эмульсии. Получены зависимости индекса поведения потока, а также коэффициента консистенции от влажности плавленого сыра. Найденные значений индекса поведения потока указывали на псевдопластическую природу плавленого сыра. Характеристики потока образцов сыра были проанализированы с использованием регрессионной процедуры для описания влияния температуры и химического состава на реологические параметры. Наблюдали повышение индекса поведения потока при увеличении содержания влаги и температуры продукта. Коэффициент консистенции и, следовательно, кажущаяся вязкость увеличивались при снижении температуры и влажности. Сделаны выводы, что на кажущуюся вязкость плавленого сыра во время обработки наибольшее влияние оказывают вода и белки (непрерывная фаза), при этом жир (дисперсная фаза) существенного влияния не оказывает.*

Ключевые слова: *плавленый сыр, формование, оптимизация, реологические характеристики, вязкость.*

Для цитирования: *Исследование реологических характеристик плавленого сыра / С. А. Бредихин [и др.]* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 35–40. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.005.

© Бредихин, С. А., Андреев, В. Н., Мартеха, А. Н., Березовский, Ю. М., 2021

Original article

INVESTIGATION OF THE RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PROCESSED CHEESE

Sergey A. Bredikhin [1], Vladimir N. Andreev [2], Alexander N. Martekha [3], Yuriy M. Berezovskiy [4]

[1, 2, 3] Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia
[4] Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatov, Moscow, Russia
[1] bredihin2006@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6898-0389
[2] andr64.64@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4890-379X
[3] man6630@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0002-7380-0477
[4] birjuza1@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1002-2580

***Abstract**. Rheological measurements are very relevant in the food industry as a tool for the physical characterization of raw materials before processing, for intermediate products in the production process and for finished food products. The purpose of this study was to determine the effect of temperature and chemical composition on the rheological characteristics of processed cheese, as well as to measure the apparent viscosity of the product during cooling and during processing. A rotary viscometer was used to determine the apparent viscosity. The apparent viscosity of the processed cheese was determined at 50, 60, 70, 80 and 90 °C until the products solidified when the product samples were still in the emulsion state. The dependences of the flow behavior index and the consistency coefficient on the moisture content of the processed cheese are obtained. The found values of the flow behavior index indicated the pseudoplastic nature of the processed cheese. The flow characteristics of the cheese samples were analyzed using a regression procedure to describe the effect of temperature and chemical composition on rheological parameters. An increase in the flow behavior index was observed with increasing moisture content and product temperature. The consistency factor and therefore the apparent viscosity increased with decreasing temperature and humidity. It is concluded that the apparent viscosity of processed cheese during processing is most influenced by water and proteins (continuous phase), while fat (dispersed phase) has no significant effect.*

***Keywords:** processed cheese, molding, optimization, rheological characteristics, viscosity.*

For citation: Bredikhin, S. A., Andreev, V. N., Martekha, A. N. & Berezovskiy, Yu. M. (2021). Investigation of the rheological characteristics of processed cheese. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 35-40. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.005.

ВВЕДЕНИЕ

Обработка в процессе производства плавленого сыра требует перемешивания и нагрева смеси сырья (натуральных сыров, воды, сливочного масла и т.д.) в присутствии эмульгирующих солей. Полученная эмульсия подвергается перекачке, заливке и охлаждению. Поскольку резка и теплопередача применяются на разных стадиях производства плавленых сыров, за исключением тепловых свойств и плотности этих продуктов, знание их вязкости необходимо для моделирования и оптимизации технологических операций. Кроме того, измерение вязкости плавленого сыра в конечном продукте также может характеризовать его способность к плавлению, что является одним из наиболее важных физических свойств, позволяющих использовать его в различных блюдах [1, 2].

Многие ученые определяли вязкость плавленых сыров, аналогов сыров и натуральных сыров, используя различные методы вискозиметрии, которые имеют некоторые ограничения, главным образом проблему определения кажущейся вязкости при высоких температурах из-за испарения воды [2].

Цель этого исследования состояла в том, чтобы измерить кажущуюся вязкость плавленого сыра во время обработки и перед охлаждением, а также изучить, как температура и химический состав влияют на это свойство. Таким образом, был использован вискозиметр с пневматической трубкой, кото-

рый может измерять вязкость в широком диапазоне скоростей сдвига. Образцы плавленого сыра могут быть изготовлены внутри емкости для образцов прибора, который позволяет проводить реологические измерения в режиме реального времени в неблагоприятных условиях повышенных температур, избегая при этом испарения воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования использовали полутвердый сыр Гауда (44,2 % влаги; 46,4 % жира в сухом веществе; 25,5 % белков), сливочное масло (16,6 % влаги; 81,7 % жира) и сухое обезжиренное молоко (6,6 % влаги; 0,9 % жира; 37,5 % белков). Цитрат тринатрия, добавляемый в количестве 4 %, использовался в качестве эмульгирующей соли для производства плавленого сыра. Сырье добавлялось в количествах, чтобы текстура образцов плавленого сыра варьировалась в широком диапазоне, в результате чего получались продукты блочного и растекаемого типа. Для проведения эксперимента было изготовлено семь различных образцов плавленого сыра в трех экземплярах для каждой из температур.

Для определения кажущейся вязкости был использован ротационный вискозиметр *Rheotest*. Для потока вязкость рассчитывается по закону Хагена–Пуазейля. Объемный расход может быть определен путем измерения объема выпускаемой жидкости на выходе из трубки вместе с соответствующим временем выпуска. Путем измерения расхода при различных давлениях (скоростях сдвига) можно получить кривую расхода. Для обработки данных вискозиметра была разработана программа на базовом языке, которая учитывает соответствующие поправки, чтобы рассчитать вязкость жидкости в зависимости от скорости сдвига [3, 4].

Кажущуюся вязкость плавленого сыра определяли от 50 до 90 ºС до затвердевания продуктов, когда образцы плавленого сыра все еще находились в состоянии жидкой эмульсии. К концу времени, необходимого для завершения эмульгирования, были проведены измерения кажущейся вязкости плавленого сыра, после того как трубка со сжатым воздухом была подсоединена к сосуду и выход капиллярной трубки был освобожден [5].

Содержание влаги в образцах сырья и плавленого сыра определяли путем сушки при температуре 102 ± 2 ºС до постоянного веса. Содержание жира определяли методами Ван Гулика и Гербера–Редера для образцов сыра и плавленого сыра соответственно. Химический анализ образцов проводился в трех экземплярах, по одному для каждой репликации образца [6].

Характеристики потока образцов сыра были проанализированы с использованием регрессионной процедуры. Чтобы выбрать наилучшее уравнение регрессии, выполняются три процедуры: регрессия наилучшего подмножества, прямой выбор и обратное исключение. С учетом результатов всех вышеперечисленных методов выводится наилучшее уравнение регрессии. Статистический анализ экспериментальных данных проводился с использованием статистического программного обеспечения *Minitab*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На рисунке 1 показаны кривые течения, которые представляют собой зависимость кажущейся вязкости от скорости сдвига при различных температурах и характерны для данных, полученных в результате реологических измерений на каждом из образцов плавленого сыра.

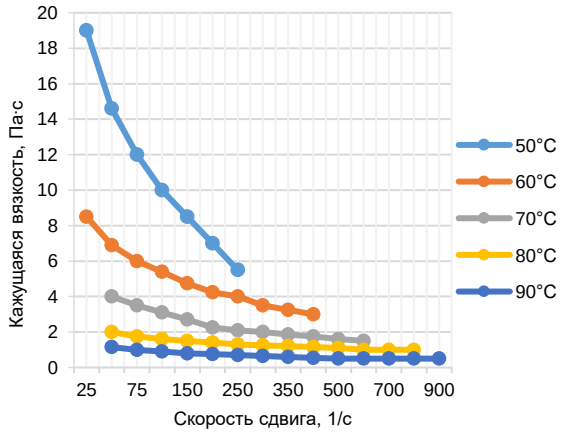


Рисунок 1 – Зависимость кажущейся вязкости от скорости сдвига

Figure1 - Dependence of apparentviscosity onshearrate

Кривые течения типичны для неньютоновской псевдопластической жидкости, которая может быть описана простой степенной моделью $\tau = k\gamma^n$ или $\eta = \tau/\dot{\gamma} = k\gamma^{n-1}$, где τ – напряжение сдвига (Па), k – коэффициент консистенции (Па·с^n), $\dot{\gamma}$ является скоростью сдвига (с$^{-1}$), n – индекс поведения потока (безразмерный), при $n < 1$ для псевдопластичных жидкостей, а η – кажущаяся вязкость (Па·с). Коэффициент вариации, рассчитанный

на основе трех повторений каждого образца при каждой температуре, варьировался от 0,3 % до 3,3 % и от 0,3 % до 12,8 % для индекса поведения потока и коэффициента консистенции, соответственно.

На рисунке 2 представлены зависимость индекса поведения потока от влажности образцов при различной температуре.

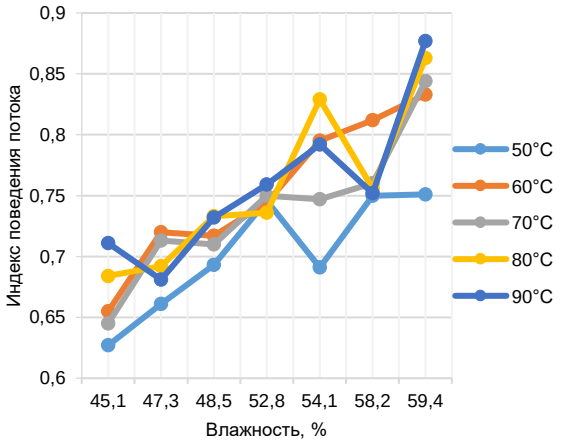


Рисунок 2 – Зависимость индекса поведения потока от влажности

Figure 2 - Dependence of the flow behavior indexonmoisture

Чтобы понять, как температура и химический состав влияют на кажущуюся вязкость во время обработки, необходимо ознакомиться с результатами применения тепла и механического сдвига к сырной смеси.

Регрессионный анализ был проведен для того, чтобы найти модель, которая описывала бы взаимосвязь между индексом поведения потока и температурой образцов плавленого сыра. Модель регрессионного анализа (1) состоит только из тех переменных, которые являются статистически значимыми.

$$n = 0.084 + 1.06X_в + 0.0014\,T\,, \qquad (1)$$

где $X_в$ – массовая доля воды, а T – температура.

Содержание влаги влияет на индекс поведения потока больше, чем температура, и объясняет 70,0 % общего изменения уравнения регрессии, в отличие от температуры, которая объясняет только 10,5 %.

Увеличение содержания влаги увеличивает индекс текучести, и жидкость стремится к ньютоновскому поведению. Индекс поведения потока также увеличивается при повышении температуры. При высоких концентрациях развернутые гидратированные молекулы белка имеют произвольную ориентацию и низкую подвижность, что приводит к получению высоковязких растворов. Эти растворы проявляют псевдопластические свойства течения, что указывает на то, что их вязкость уменьшается, как только скорость сдвига увеличивается. Это поведение можно объяснить постепенным вращением и ориентацией макромолекул в направлении потока. Увеличение содержания влаги и температуры (тепловой энергии) увеличивает подвижность белковых молекул для вращения, поэтому растворы проявляют меньшее поведение, зависящее от сдвига [6, 7].

На рисунке 3 представлена зависимость коэффициента консистенции от влажности образцов при различной температуре.

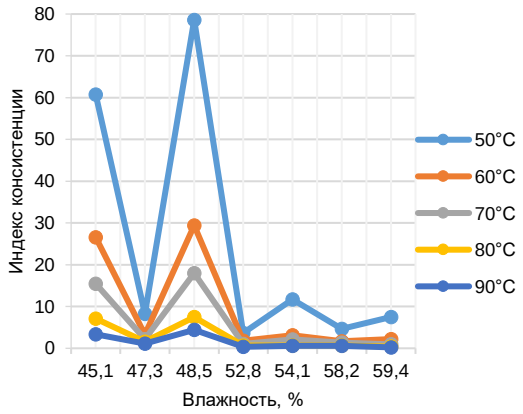


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента консистенции от влажности

Figure 3 - Dependence of the consistency factor on moisture

Кажущаяся вязкость жидкости пропорциональна коэффициенту консистенции. Регрессионный анализ предложил полулогарифмическую модель (2), которая учитывала только статистически значимые переменные для связи между коэффициентом консистенции и как температурой, так и химическим составом плавленого сыра:

$$logk = 4{,}6 - 0{,}028T - 6{,}9X_в + 10{,}3\,X_б\,, \qquad (2)$$

где $X_б$ – массовая доля белков.

Температура объясняет 41 % общего изменения уравнения регрессии, а содержание влаги и белка составляет 34,5 % и 20,2 % соответственно.

Регрессионный анализ показал, что коэффициент консистенции снижается при повышении температуры, что, в свою очередь, указывает на то, что при высоких температу-

рах кажущаяся вязкость плавленого сыра снижается. Вязкая сила, возникающая в текущей жидкости, должна быть обусловлена скоростью изменения импульса молекул поперек потока и силой притяжения между молекулами. В жидкостях молекулы тесно упакованы вместе, межмолекулярные силы доминируют и пытаются противостоять напряжениям сдвига, возникающим, когда жидкость вынуждена двигаться. С повышением температуры степень молекулярного движения увеличивается, уменьшая силы притяжения на малых расстояниях между молекулами и снижая вязкость [7].

Согласно нашим результатам, белки и вода, составляющие основную часть непрерывной фазы эмульсии плавленого сыра, действуют конкурентно. Увеличение содержания белка увеличивает показатель консистенции плавленого сыра, тем самым увеличивая кажущуюся вязкость. Термическая обработка белков часто приводит к увеличению поглощения воды и набуханию по мере развертывания белков. В результате этого увеличивается гидродинамический объем и повышается сопротивление потоку. При увеличении концентрации белка возникает большее сопротивление, потому что частицам приходится убираться с пути друг друга. Увеличение вязкости также отражает межмолекулярные взаимодействия, возникающие в результате притяжения между соседними молекулами белка с образованием слабых переходных сетей [8].

По данным регрессионного анализа в нашем исследовании очевидна экспоненциальная связь между коэффициентом консистенции и белками. В отличие от эффекта белков, при увеличении содержания влаги показатель консистенции снижается. Это указывает на то, что плавленый сыр с высоким содержанием влаги будет менее вязким, чем другой с более низким содержанием влаги. Вода является важным агентом в производстве плавленого сыра, поскольку она растворяет эмульгирующие соли, диспергирует и набухает белки. Поэтому добавление воды необходимо даже в небольших количествах. Однако, когда содержание воды еще больше увеличивается, молекулы белка еще больше удаляются, и белок-белковые взаимодействия существенно ослабевают. Уменьшение притяжения между молекулами гидратированного белка приводит к снижению вязкости эмульсии [9].

Методом регрессионного анализа установлено, что жир существенно не влияет на показатель консистенции и, следовательно, кажущуюся вязкость плавленого сыра. Вязкость дисперсной фазы, состоящей из жидкого жира и жирорастворимых веществ, очень низкая по сравнению с вязкостью непрерывной фазы, состоящей из раствора, в основе которой водорастворимые белки и минералы. Следовательно, на вязкость эмульсии плавленого сыра во время обработки влияет непрерывная фаза (вода и белки), а не дисперсная фаза (жидкий жир).

В диапазоне температур 50–90 ºС средняя энергия активации потока для всех образцов плавленого сыра, полученных из любого уравнения, была рассчитана как 15,8 ккал/моль.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Индекс поведения потока меньше единицы, указывающий на псевдопластическую природу плавленого сыра. Содержание влаги и температура влияют на показатель текучести. При увеличении содержания влаги вязкость плавленого сыра в меньшей степени зависит от увеличения скорости сдвига. Это указывает на то, что плавленый сыр имеет тенденцию к ньютоновскому поведению. Температура оказывает аналогичное влияние с содержанием влаги на вязкость плавленого сыра.

На коэффициент консистенции влияют температура, влажность и содержание белка. При повышении температуры и влажности показатель консистенции снижается, что указывает на то, что плавленый сыр менее вязкий. Напротив, увеличение содержания белка приводит к продуктам с высокими значениями вязкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационный метод исследования реологических свойств пищевых продуктов / Б.Б. Кабулов [и др.] // Мясная индустрия. 2009. № 6. С. 62–64.

2. Орлова Е.А., Дунаев А.В., Калабушкин В.В. Качество и стабильность плавленых сыров и молокосодержащих сырных продуктов при хранении // Переработка молока. 2018. № 12(230). С. 48–52.

3. Перевертова О. Оптимизация технологии производства плавленых сыров // Переработка молока. 2021. № 5(259). С. 54–55.

4. Орлов Б.Ю., Степанова Е.Г., Зайцев А.С. Исследование реологических свойств пищевых материалов, обработанных методами электротехнологии // Альманах мировой науки. 2017. № 2-1(17). С. 65–66.

5. Коган В.В., Семенова Л.Э. Инженерная реология в пищевой промышленности // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия : Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 147–156. doi: 10.24143/2073-5529-2019-4-147-156.

6. Инженерная реология. Физико-меха-

нические свойства и методы обработки пищевого сырья : учеб. пособие / С.А. Бредихин [и др.]. Санкт-Петербург : Изд-во Лань, 2021. 192 с.

7. Исследование теплофизических и реологических свойств пищевых растительных масел / А.Н. Остриков [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 36–43. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.05.005.

8. Joyner (Melito) H.S. Explaining food texture through rheology // Current Opinion in Food Science. 2018. V. 21. P. 7–14. doi: 10.1016/j.cofs.2018.04.003.

9. Jaensson N.O., Anderson P.D., Vermant J. Computational interfacial rheology // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. 2021. V. 290. 104507. doi: 10.1016/j.jnnfm.2021.104507.

Информация об авторах

С. А. Бредихин – доктор технических наук, профессор, зав. кафедры «Процессы и аппараты перерабатывающих производств» Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева.

В. Н. Андреев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессы и аппараты перерабатывающих производств» Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева.

А. Н. Мартеха – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессы и аппараты перерабатывающих производств» Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева.

Ю. М. Березовский – доктор технических наук, научный консультант Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова.

REFERENCES

1. Kabulov, B.B., Kakimov, A.K., Kakimova, Z.H.H., Kosoy, V.D. (2009). An innovative method for studying the rheological properties of food. *Meat industry*. (6), 62-64. (In Russ.).

2. Orlova, E.A., Dunaev, A.V., Kalabushkin, V.V. (2018). Quality and stability of processed cheeses and milk-containing cheese products during storage. *Milk processing.* 12(230), 48-52. (In Russ.).

3. Perevertova, O. (2021). Optimization of processed cheese production technology. *Milk processing.* 5(259), 54-55. (In Russ.).

4. Orlov, B.Yu., Stepanova, E.G., Zaycev, A.S. (2017). Investigation of the rheological properties of food materials processed by electrotechnology methods. *Almanac of World Science*, 2-1(17), 65-66. (In Russ.).

5. Kogan, V.V. & Semenova, L.E. (2019). Engineering rheology in the food industry. *Proceedings of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries.* (4), 147-156. (In Russ.). doi: 10.24143/2073-5529-2019-4-147-156.

6. Bredikhin, S.A., Andreev, V.N., Berezovskiy, Yu.M. & Martekha, A.N. (2021). Engineering rheology. Physical and mechanical properties and methods of processing food raw materials: Textbook. St. Petersburg: Lan. (In Russ.).

7. Ostrikov, A.N., Kleymenova, N.L., Bolgova, I.N. & Kopylov, M.V. (2021). The research of thermophysical and rheological properties of edible vegetable oils. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 36-43. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.05.005.

8. Joyner (Melito), H.S. (2018). Explaining food texture through rheology.*Current Opinion in Food Science*. (21), 7-14. doi: 10.1016/j.cofs.2018.04.003.

9. Jaensson, N.O., Anderson, P.D., Vermant, J. (2021). Computational interfacial rheology. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. (290), 104507. doi: 10.1016/j.jnnfm.2021.104507.

Information about the authors

S. A. Bredikhin - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of "Processes and devices of processing industries" of the Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev.

V. N. Andreev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries of the Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev.

A. N. Martekha - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries of the Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev.

Yu. N. Berezovskiy - Doctor of Technical Sciences, Scientific Consultant of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbatov.

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

Статья поступила в редакцию 09.09.2021; одобрена после рецензирования 10.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 9 Sep 21; approved after reviewing on 10 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 41–46.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4:41–46.

Научная статья
05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
УДК 637.146.34 - 636.39.034
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.006

ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЗАХСТАНА: ПОЛУЧЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА МОЛОКА МЕЛКОГО РОГАТОГО СКОТА

Асан Бекешович Оспанов [1], Елена Михайловна Щетинина [2], Ботагоз Ондасынкызы Кулжанова [3], Раушан Кыдырхановна Макеева [4]

[1,3,4] ТОО «Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан
[2] ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», Барнаул, Россия

[1] a.ospanov@rpf.kz, https://orcid.org/0000-0003-2396-3419
[2] schetinina2014@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-3463-9502
[3] botagoz-89@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7266-8566
[4] r.makeyeva@rpf.kz

Аннотация. *Во всем мире активно ведется работа по поиску альтернативных видов молочного сырья. Многие страны мира издавна производят молочные продукты на основе молока мелкого рогатого скота: козьего и овечьего.*

Использование козьего и овечьего молока для производства различных видов молока и молочных продуктов в мире активно увеличивается, хотя их доля значительно меньше по сравнению с коровьим и буйволиным молоком во всем мире. Овцеводство и козоводство – традиционное исторически укоренившееся на территории Казахстана направление животноводства. В статье представлены результаты исследований состояния овцеводства и козоводства в мире и на территории Казахстана, особенности лактации мелкого рогатого скота, изучен средний состав молока козьего, коровьего и овечьего, а также физико-химический состав молока в осенний период.

Ключевые слова*: козье молоко, овечье молоко, коровье молоко, функциональные продукты, йогурт, сыр.*

Для цитирования: Перспективное направление развития молочной промышленности Казахстана: получение и переработка молока мелкого рогатого скота / А. Б. Оспанов [и др.]. // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 41–46 , doi: 10.25712/ ASTU.2072-8921.2021.04.006.

© Оспанов, А. Б., Щетинина, Е. М., Кулжанова, Б. О., Макеева, Р. К., 2021

Original article

PROSPECTIVE DIRECTION OF DEVELOPMENT OF THE DAIRY INDUSTRY OF KAZAKHSTAN: PRODUCTION AND PROCESSING OF LITTLE CATTLE MILK

Asan B. Ospanov [1], Elena M. Shchetinina [2], Botagoz O. Kulzhanova [3], Raushan K. Makeeva [4]

[1, 3, 4] Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan
[2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[2] Altai State Agricultural University, Barnaul, Russia

[1] a.ospanov@rpf.kz, https://orcid.org/0000-0003-2396-3419
[2] schetinina2014@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-3463-9502
[3] botagoz-89@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7266-8566
[4] r.makeyeva@rpf.kz

Abstract. *All over the world, work is underway to find alternative types of milk raw materials. Many countries of the world have long been producing dairy products based on the milk of small ruminants: goat and sheep.*

The use of goat and sheep milk for the production of various types of milk and dairy products in the world is actively increasing, although their share is significantly lower compared to cow and buffalo milk worldwide. Sheep and goat breeding is a traditional, historically rooted livestock sector in Kazakhstan. The article presents the results of studies of the state of sheep and goat breeding in the world and on the territory of Kazakhstan, the peculiarities of lactation of small ruminants, the average composition of goat, cow and sheep milk, as well as the physicochemical composition of milk in the autumn period, has been studied.

Key words: *goat's milk, sheep's milk, cow's milk, functional products, yoghurt, cheese.*

For citation: Ospanov, A. B., Shchetinina, E. M., Kulzhanova, B. O. & Makeeva, R. K. (2021). Prospective direction of development of the dairy industry of Kazakhstan: production and processing of little cattle milk. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 41-46. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.006.

ВВЕДЕНИЕ

Козье и овечье молоко широко используется для домашнего потребления во всем мире и для промышленного производства различных продуктов, начиная от йогуртов и заканчивая сырами, что делает его особенно экономически ценным в странах, где козы и овцы выращиваются в большом количестве из-за климата или пустынной и горной местности, благоприятствующей разведению коз и овец по сравнению с крупным рогатым скотом. В азиатских и африканских странах, особенно в Индии, козье и овечье молоко играет значительную роль в национальной, особенно в сельской экономике.

Средиземноморский регион производит 66 % мирового овечьего молока и 18 % мирового козьего молока. Из всего молока во всем мире, производимого всеми видами животных, овечье молоко составляет около 1,5 %, а козье – 2,0 % [1].

Во многих европейских странах овечье и козье молоко производится в гораздо больших количествах, чем коровье. Например, в США козье и овечье молоко относят к специализированным молочным продуктам. Чтобы избежать конкуренции с импортными товарными сырами с субсидиями, американские переработчики концентрируются на производстве традиционных сыров.

Сезонные колебания производства козьего и овечьего молока побудили переработчиков использовать некоторое количество высококачественного замороженного козьего творога или овечьего молока для корректировки переработки, чтобы обеспечить равномерное снабжение населения йогуртами и мягкими сырами в течение всего года [3–9].

Сегодня мастера промышленных предприятий и фермеры активно участвуют в различных курсах, обучающих работе с козьим и овечьим молоком. Уникальные свойства и ароматы козьего и овечьего молока заложены в специальных и традиционных сырах и ферментированных продуктах, которые не могут быть получены из другого вида молока.

При постоянном акценте на особые качества козьего и овечьего молока рынок его производства должен продолжать активно расти [2]. Композиционные различия козьего молока, например, низкая концентрация αs1-казеина и мелкие, по сравнению с коровьим молоком, жировые глобулы [3] могут привести к более мягкой консистенции и большему синтезу в козьем йогурте.

В Турции и соседних странах Ближнего Востока и Балкан многие сыры и кисломолочные продукты производятся из овечьего и козьего молока. Некоторые из этих продуктов называются по-разному и имеют модифицированные производственные процессы, но все они важны для потребителей из-за типа используемого молока.

Продукты, изготовленные из козьего или овечьего молока, имеют несколько иные и интересные характеристики, особенно вкус, аромат, внешний вид и химический состав, по сравнению с аналогами, изготовленными из коровьего молока.

В Турции, хотя некоторые сыры и кисломолочные продукты первоначально производились с использованием только овечьего и козьего молока, в настоящее время производится из смешанного с коровьим молоком, что связано с ограниченностью производства овечьего молока. Значительное снижение производства молока коз или овец, вероятно, связано с миграцией населения из сельской местности в город, отсутствием сотрудничества в фермерских хозяйствах, низкими показателями в производстве и доении, непродуктивными пастбищами, повышением цен на корма и рабочую силу и некоторыми проблемами для сельскохозяйственной политики и сельского хозяйства Турции.

Однако спрос потребителей на молочные продукты, обладающие высокой пищевой и биологической ценностью, повысил популярность молочных продуктов из овечьего и козьего молока [5–7].

Производство молока и молочных продуктов имеет большое экономическое значение в Греции. Ежегодная выработка овечьего и козьего молока составляет более 100 кг на одного жителя, получаемого в основном от местных пород животных. Помимо молока для потребления человеком, основными молочными продуктами, производимыми в стране, являются йогурт и сыр. Большая часть молока мелких жвачных животных превращается в сыр; фактически более 80 % используется для производства сыра на молочных заводах. Две трети от общего объема производства сыра, по оценкам, в 2018 году были сделаны из овечьего или козьего молока, и около 50 %, то есть 92 000 т, составлял сыр Фета. Интересно отметить, что из овечьего и козьего молока было произведено соответственно 10500 и 310 тонн йогурта [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование козьего и овечьего молока для производства различных видов молока и молочных продуктов в мире активно увеличивается, хотя их доля значительно меньше по сравнению с коровьим и буйволиным молоком во всем мире, но оно гораздо лучше организовано в одних странах, чем в других. Производство козьего и овечьего молока коммерческим или традиционным способом на ферме для прямых продаж успешно осуществляется для пастеризованных напитков, ультрапастеризованного молока, сгущенного молока, мороженого, сухого молока, традиционных продуктов из козьего молока, даже мыла, лосьонов и сладостей, помимо популярных сыров и йогуртов.

Проблема «козьего» или «овечьего» вкуса может существовать в некоторых областях, но такие продукты, как мороженое, молочные напитки и сухое молоко из козьего или овечьего молока, благодаря своим питательным и антиаллергенным свойствам, могут быть полезными и альтернативными молочному продукту для детей, молодых и больных людей.

Козье молоко, как и коровье, можно использовать при производстве различной кисломолочной продукции. Такая продукция обладает высокой усвояемостью, а также рекомендуются для профилактики питания человека. Такие страны, как Болгария, Франция, Индия, Турция, Греция и Италия, с хорошо развитым козоводством достаточно давно производят продукты из козьего молока, в том числе и кисломолочные. Европейские страны пошли дальше, с недавнего времени они производят функциональные продукты на основе козьего молока и продуктов его переработки.

Практически каждая страна заинтересована в благополучном развитии будущего поколения, поэтому на рынке каждый год появляется всё больше продуктов детского питания, включая продукты из козьего и овечьего молока.

Овцеводство и козоводство – традиционное исторически укоренившееся на территории Казахстана направление животноводства. Никакой другой вид сельскохозяйственных животных не способен более эффективно использовать такие низкопродуктивные угодья, как пустыни и полупустыни, мелкоконтурные малопродуктивные участки в лесной и лесостепной зонах, а также различные овраги, предгорные и горные пастбища. Для углубленного изучения продуктивности мелкого рогатого скота в крестьянском хозяйстве «Акша» Жамбылской области Казахстана был проведен хозяйственный опыт на четырех группах лактирующих овец и на трех группах лактирующих коз.

В первую группу лактирующих овец входили овцы Казахской тонкорунной породы, во вторую – мериносной породы, в третью – породы Едилбай, в четвертую – породы Иль де Франс, а также в первую группу лактирующих коз входили козы породы Зааненская, во вторую – Нубийская, в третью – Альпийская. На начало опыта все животные были на 90–100-ом дне лактации; исследование молочной продуктивности проводили до конца лактации. Все аналитические исследования проводили в соответствии со стандартными, общепринятыми методиками. Результаты представлены в таблице 1.

Так как на территории Казахстана стада включают в себя несколько пород животных и молоко получают сборное по породам, то были изучены средние показатели молока по видам млекопитающих, которые представлены в таблице 2, а также сезонные колебания в составе молока коз и овец, которые представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Продуктивность овец и коз в зависимости от породы на территории Казахстана

Table 1 – Productivity of sheep and goats, depending on the breed on the territory of Kazakhstan

Название породы	Длительность лактации, дней	Удой за сутки, кг	Удой за лактацию,кг
Порода овец			
Казахская тонкорунная	120	0,93±0,001	112,13±2,5
Южказ меринос	124	1,13±0,12	140±3,7
Едилбай	95	1,78±0,23	98±1,6
Иль де Франс	178	0,55±0,01	169±3,4
Порода коз			
Зааненская	300	3,08±0,20	630,14±3086
Нубийская	300	2,80±0,10	608,70±83,64
Альпийская	300	2,63±0,4	534,17±43,64

Таблица 2 – Средний состав молока различных млекопитающих

Table 2 – Average composition of milk of various mammals

Вид	Содержание основных компонентов, (г/100 г)						
	вода	жир	белок	лактоза	зола	СОМО	всего твердых веществ
Коза	87,00	4,25	3,52	4,27	0,86	8,75	13,00
Корова	87,20	3,70	3,50	4,90	0,70	9,10	12,80
Овца	80,71	7,90	5,23	4,81	0,90	11,39	19,29

Таблица 3 – Физико-химические показатели овечьего и козьего молока по месяцам

Table 3 – Physical and chemical indicators of sheep and goat milk by months

Показатели, %	Сезоны года					
	Овечье молоко			Козье молоко		
	сентябрь	октябрь	ноябрь	сентябрь	октябрь	ноябрь
1	2	3	4	5	6	7
Массовая доля влаги	86,77±0,80	87,14±0,30	87,03±0,27	88,13±1,20	87,02±1,12	87,79±1,03

Продолжение таблицы 3 / Table 3 cont.

1	2	3	4	5	6	7
Массовая доля сухих веществ	13,21±0,40	12,86±0,25	12,97±0,18	11,87±0,25	12,98±0,75	12,21±0,86
Жир	8,5±0,2	8,1±0,5	7,50±0,3	4,3±0,05	4,1±0,04	4,0±0,05
Белок	5,8±0,5	5,6±0,1	4,8±0,3	3,68±0,01	3,46±0,01	3,43±0,02
Лактоза	4,6±0,03	4,6±0,05	4,7±0,01	4,56±0,03	4,58±0,02	4,58±0,07
СОМО	8,93±0,40	8,86±0,35	8,73±0,46	8,79±0,12	8,79±0,23	8,70±0,18
Активная кислотность pH	6,56±0,01	6,81±0,03	6,45±0,01	4,5±0,03	4,3±0,01	4,2±0,02
Титруемая кислотность, ºТ	22±0,516	22±0,513	22±0,509	14,01±0,403	14±0,410	14±0,420
Плотность г/см^3	1,036±0,01	1,036±0,01	1,035±0,01	1,031±0,01	1,030±0,01	1,079±0,01
Вязкость, Па·С	$2,4\cdot10^{-3}$	$2,2\cdot10^{-3}$	$2,1\cdot10^{-3}$	$1,9\cdot10^{-3}$	$1,6\cdot10^{-3}$	$1,5\cdot10^{-3}$

Анализ проведенных исследований физико-химических свойств овечьего и козьего молока показал, что содержание сухих веществ (СВ) и СОМО в молоке изменяется в осенние периоды лактации. Следует отметить, что наибольшее содержание СВ и СОМО овечьего и козьего молока отмечается в сентябре месяце 8,93 % и 8,79 % соответственно, а наименьшее – в ноябре (12,97 и 12,21 %). Такое изменение можно объяснить тем, что осенью происходит изменение кормового рациона, что влияет на течение обменных процессов, происходящих в организме животных.

Количественное содержание белка и жира в молоке овец и коз изменяется в зависимости от месяцев. Разница в содержании белка в осенние периоды не превышает от 0,1 до 0,5 %. Различие в содержании белка в молоке по месяцам лактации объясняется изменением рациона питания коз. Бедный энергией рацион приводит к уменьшению содержания белка, а богатый – к его увеличению. При дефиците протеина в питании животных соответственно снижается содержание белка в молоке.

Самое высокое содержание жира отмечалось в октябре месяце (8,5 % для овец и 4,3 % для коз), а самое низкое в конце осеннего месяца (7,50 % для овец и 4,0 % для коз), так как ближе к зимнему периоду овцы и козы находятся на стойловом вскармливании.

В осенние периоды лактации овец и коз наблюдается превышение молочного сахара лактозы от 4,6 до 4,7 % для молока овец, соответственно для молока коз показатель составляет от 4,56 до 4,58 %. Превышение молочного сахара в козьем и овечьем молоке положительно влияет на фермент-лактазу (β-галактозидаза), вырабатываемой заквасочной молочнокислой микрофлорой. Это свидетельствует о возможности использования козьего молока для диетического и детского питания.

Плотность молока овец и коз в ноябре месяце незначительно снизился от 1,036 до 1,035 кг/см^3, соответственно плотность молока коз составило 1,031 до 1,071 кг/см^3. Титруемая кислотность у обоих животных остается неизменными (22 ºТ для молока овец) и (14 ºТ для молока коз).

ВЫВОДЫ

В процессе выполнения данной научно-исследовательской работы был проведён анализ отрасли козоводства и овцеводства в мире и на территории Казахстана, потенциала использования козьего и овечьего молока как сырья для производства молочной продукции.

Исследования проводились в рамках грантового проекта в ТОО «Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности» в рамках проекта: ИРН AP08855775 «Разработка технологии живого йогурта на основе молока мелкого рогатого скота с капсулированным плодово-ягодным концентратом» по бюджетной программе 217 «Развитие науки» подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований» МОН РК 2020-2022 гг.

Для создания технологии производства живого йогурта на основе молока мелкого рогатого скота с капсулированным плодово-ягодным концентратом были изучены технологические показатели молока коз и овец, полученных на территории Казахстана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова Н.Б. Щетинина Е.М. Козье молоко – биологически полноценное сырьё для специализированной пищевой продукции // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 1. С. 66–75.

2. Гаврилова Н.Б. Щетинина Е.М. Перспективы производства специализированной пищевой продукции на основе молока коз Алтайского края // Молочная промышленность. 2019. № 6. С. 56–57.

3. Щетинина Е.М. Перспективы переработки овечьего молоко на территории Алтайского края // Сыроделие и маслоделие. 2018. № 2. С. 19–21.

4. Разработка технологии обогащенного йогурта на основе козьего молока-сырья / Е.М. Щетинина, Н.Б. Гаврилова, Н.Л. Чернопольская // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 61–65.

5. Щетинина Е.М. Расширение ассортимента кисломолочных напитков Алтайского края, за счет использования козьего молока-сырья // Ползуновский вестник. 2019. № 3. С. 44–49.

6. Development of specialized food products for nutrition of sports-men / N. Gavrilova, N. Chernopolskaya, M. Rebezov, E. Schetinina, I. Suyazova, S. Safronov, V. Ivanova, E. Sultanova // Journal of Critical Reviews. 2020. Т. 7. № 4. С. 233–236.

7. Specialized sports nutrition foods: review / N.B. Gavrilova, N.L. Chernopolskaya, M.B. Rebezov, E.M. Shchetinina, N.G. Dogareva, O.E. Likhodeevskaya, I.V. Knysh, Z.S. Sanova // International Journal of Pharmaceutical Research. 2020. Т. 12. № 2. С. 998–1003.

8. Assessment of safety indicators for the developed functional bioyogurt / M.V. Temerbaeva, E.M. Schetinina, E.N. Artemova, L.V. Gaidarenko, E.P. Petuhova, I.A. Nikolaev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. № 613 (1). 0120148.

9. Молочно-белковый концентрат, обогащенный кальцием / И.С. Хамагаева, А.В. Щекотова, О.А. Жеребятьева, Е.М. Щетинина // Ползуновский вестник. 2017. № 1. С. 24–30.

REFERENCES

1. Gavrilova, N.B. & Shchetina, E.M. (2019). Goat's milk - biologically high-grade raw materials for specialized food products. *Storage and processing of agricultural raw materials*, (1), 66-75. (In Russ.).

2. Gavrilova, N.B. & Shchetina, E.M. (2019). Prospects for the production of specialized food products based on goat milk of the Altai Territory. *Dairy industry*. (6). 56-57. (In Russ.).

3. Shchetinina, E.M. (2018). Prospects for processing sheep's milk on the territory of the Altai Territory. *Cheese-making and butter-making*. (2), 19-21. (In Russ.).

4. Shchetinina, E.M., Gavrilova, N.B. & Chernopolskaya, N.L. (2020). Development of technology of enriched yogurt based on goat's milk-raw materials. *Polzunovskiy Vestnik*. (2), 61-65. (In Russ.).

5. Shchetinina, E.M. (2019). Expansion of the assortment of fermented milk drinks of the Altai Territory, due to the use of goat's milk-raw materials. *Polzunovskiy Vestnik*. (3), 44-49. (In Russ.).

6. Gavrilova, N., Chernopolskaya, N., Rebezov, M., Schetinina, E., Suyazova, I., Safronov, S., Ivanova, V. & Sultanova, E. (2020). Development of specialized food products for nutrition of sportsmen. J*ournal of Critical Reviews*. 7(4), 233-236. (In Russ.).

7. Gavrilova, N.B., Chernopolskaya, N.L., Rebezov, M.B., Shchetinina, E.M., Dogareva, N.G., Likhodeevskaya, O.E., Knysh, I.V. & Sanova, Z.S. (2020). Specialized sports nutrition foods: review. International Journal of Pharmaceutical Research. 12(2), 998-1003.

8. Temerbaeva, M.V., Schetinina, E.M., Artemova, E.N., Gaidarenko, L.V., Petuhova, E.P. & Nikolaev, I.A. (2020). Assessment of safety indicators for the developed functional bioyogurt. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Scence*, 613 (1). 0120148. (In Russ.).

9. Khamagaeva, I.S., Shchekotova, A.V., Zherebyat'eva, O.A. & Shchetinina, E.M. (2017). Milk-protein concentrate enriched with calcium. *Polzunovskiy Vestnik*. (1). 24-30. (In Russ.).

Информация об авторах

А. Б. Оспанов – д.т.н., профессор, академик Академии сельскохозяйственных наук Республики Казахстан, член-корреспондент Национальной Академии наук Республики Казахстан, Председатель правления ТОО «Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности».

Е. М. Щетинина – к.т.н., доцент кафедры «Технологии продуктов питания», ФГБОУ ВО АлтГТУ; заведующий кафедры «Технологии производства и переработки продукции животноводства» ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ.

Б. О. Кулжанова – менеджер по коммерциализации-патентовед, старший научный сотрудник ТОО «Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности».

Р. К. Макеева – инженер-технолог ТОО «Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности».

Information about the authors

A. B. Ospanov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Kazakhstan, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Chairman of the Board of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry.

E. M. Shchetinina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technologies, Polzunov Altai State Technical University; head of the department "Technologies for the production and processing of livestock products" of the Altai State Agricultural University.

B. O. Kulzhanova - Commercialization Manager-Patent Specialist, Senior Researcher, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP.

R. K. Makeeva - Process Engineer Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.10.2021; одобрена после рецензирования 12.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 14 Oct 21; approved after reviewing on 12 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 47–51.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 47–51.

Научная статья
05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
УДК 663.674
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.007

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДНОГО КОМПОНЕНТА НА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА МОРОЖЕНОГО

Кирилл Алексеевич Зайцев [1], Алла Львовна Новокшанова [2]

[1] ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», Вологда, Россия
[2] ФГБУН Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии, Москва, Россия

[1] kiril16091996@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-2141-2026
[2] novokshanova@ion.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-5049-1472

Аннотация. *Исследования нацелены на разработку мороженого с повышенной пищевой и биологической ценностью. Основное сырье – молоко и сливки с массовыми долями жира 2,5 и 18,0 % соответственно. Увеличение протеиновой составляющей достигали, используя концентрат сывороточных белков молока с массовой долей белка 35 % (КСБ ТМ-35). Для повышения пищевой плотности и коррекции углеводного профиля продукта использовали высокоочищенный мальтодекстрин Multydex® с декстрозным эквивалентом 20 (МД20), а также с технологической целью как структурообразователь смеси для мороженого. Оба ингредиента производятся в России. Выполнены экспериментальные выработки мороженого по двум рецептурам. Массовые доли белка, жира, углеводов и сухих веществ сырья определяли инструментальным экспресс-методом с применением инфракрасного анализатора Milko Scan FT 120. Органолептическую оценку образцов проводили методом слепой дегустации. Исследования микроструктуры образцов выполнены с использованием интерференционно-поляризационного микроскопа BIOLAR с микрофотоустановкой. Образцы, выработанные по опытным рецептурам 1 и 2, по показателю массовой доли белка значительно превосходят классические виды мороженого, такие как молочное, сливочное, пломбир, в которых массовая доля белка не превышает 4 %. Оба варианта образцов, 1-й и 2-й рецептур обладали чистым вкусом и запахом, имели белый цвет, равномерный по всей массе. Значительные отличия выявлены в структуре образцов по размеру и распределению воздушных пузырьков, что следует иметь в виду при оптимизации рецептуры мороженого с повышенной пищевой и биологической ценностью.*

Ключевые слова: *молоко, сливки, мороженое, концентрат сывороточных белков, мальтодекстрин, сахар, пищевая ценность, спортивное питание.*

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

© Зайцев, К. А., Новокшанова, А. Л., 2021

Original article

STUDY OF THE EFFECT OF THE CARBOHYDRATE COMPONENT ON THE CONSUMER PROPERTIES OF ICE CREAM

Kirill A. Zaytsev [1], Alla L. Novokshanova [2]

[1] FSBEI HE Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia
[2] Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

[1] kiril16091996@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-2141-2026
[2] novokshanova@ion.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-5049-1472

Abstract. *The research is aimed at developing ice cream with increased nutritional and biological value. The main raw materials are milk and cream with mass fractions of fat, respectively, 2.5 and 18,0 %. The increase in the protein component was achieved using a concentrate of milk whey proteins with a mass fraction of 35 % protein (CSB TM-35). To increase the nutritional density and correct the carbohydrate profile of the product, highly purified maltodextrin Multydex ® , with a dextrose equivalent of 20 (MD20), was used, as well as for technological purposes, as a structurizer of the ice cream mixture. Both ingredients are produced in Russia. Experimental developments of ice cream according to two recipes have been carried out. The mass fractions of protein, fat, carbohydrates and dry matter of raw materials were determined by the instrumental express method using the Milko Scan FT 120 infrared analyzer. Organoleptic evaluation of the samples was carried out by blind tasting. The microstructure of the samples was studied using a BIOLAR interference-polarization microscope with a microphotometer. The samples developed according to experimental recipes 1 and 2, in terms of the mass fraction of protein, significantly exceed the classic types of ice cream, such as milk, cream, ice cream, in which the mass fraction of protein does not exceed 4 %. Both versions of the samples, the 1st and 2nd formulations had a pure taste and smell, had a white color, uniform throughout the mass. Significant differences were found in the structure of the samples in terms of the size and distribution of air bubbles, which should be borne in mind when optimizing the formulation of ice cream with increased nutritional and biological value.*

Keywords: *milk, cream, ice cream, whey protein concentrate, maltodextrin, sugar, nutritional value, sports nutrition.*

For citation: Zaytsev, K. A. & Novokshanova, A. L. (2021). Study of the effect of the carbohydrate component on the consumer properties of ice cream. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 47-51. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.007.

Рост российского и мирового рынка здорового и спортивного питания – прямое следствие изменений в моделях потребительского поведения [1]. Мороженое является одним из наиболее популярных молочных десертов, однако в ассортименте этого вида продукции недостаточно примеров, соответствующих трендам «правильное питание» и «здоровый образ жизни». Активирование и популяризация этих тенденций среди населения открывают новые направления развития всех пищевых технологий, в том числе и на рынке мороженого.

В рамках научно-исследовательской работы поставлена задача: разработать рецептуру мороженого с повышенной пищевой и биологической ценностью.

Для увеличения пищевой и биологической ценности готового продукта использовали концентрат сывороточных белков молока, имеющий массовую долю белка 35 % (КСБ ТМ-35)[1]. Аминокислотный состав сывороточных белков наиболее близок к аминокислотному составу мышечной ткани человека. Также в сывороточных белках молока содержится чрезвычайно важная для организма серосодержащая аминокислота – метионин, являющаяся источником образования холина и фосфатидов, имеющих большое значение в обмене веществ [2, 3].

[1] Производства ООО «Тагрис»

Для повышения пищевой плотности, коррекции углеводного профиля продукта, а также улучшения технологических свойств смеси для мороженого использовали высокоочищенный мальтодекстрин Multydex®. Данный мальтодекстрин, имеющий декстрозный эквивалент, равный 20 (МД20), получен управляемым ферментативным гидролизом специально подготовленного крахмала[2]. МД20 представляет собой порошок белого цвета, нейтрального вкуса, без запаха.

Оба ингредиента отличаются хорошей растворимостью в молочных средах [4, 5]. Основу смеси для мороженого составляли из молока и сливок. Сладкий вкус продукту придавали, используя сахар-песок.

Органолептическая оценка образцов проводилась методом слепой дегустации. В состав дегустационной комиссии входило семь квалифицированных экспертов-дегустаторов. Оценку образцов проводили по пятибалльной шкале.

Массовые доли белка, жира, углеводов, сухих веществ определяли инструментальным экспресс-методом с применением инфракрасного анализатора Milko Scan FT 120.

Структуру мороженого исследовали на интерференционно-поляризационном микроскопе BIOLAR с микрофотоустановкой. Образцы просматривали при увеличении 240х.

Пищевая ценность ингредиентов, используемых для составления смеси мороженого, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Макронутриентный состав сырья

Table 1 - Macronutrient composition of raw materials

Вид сырья	Массовая доля, не менее %			
	жир	белок	углеводы	сухие вещества
Молоко	2,5	3,0	4,7	10,7
Сливки	18,0	2,6	4,0	25,5
КСБ ТМ-35	1,0	35,0	54,0	90,0
МД20	–	–	96,5	96,5
Сахар-песок	–	–	99,7	99,8

В исследовании рассмотрены две рецептуры, отличающиеся количеством вносимых ингредиентов, главным образом сахара-песка, и представленные в таблице 2.

Ингредиенты растворяли в молочном сырье. Полученные смеси подвергали фризерованию. Готовое мороженое отправляли для дальнейшего закаливания, после чего исследовали органолептические показатели и микроструктуры образцов.

Таблица 2 – Рецептуры на мороженое

Table 2 - Ice cream recipes

Ингредиент	Количество ингредиентов (кг на 1 т смеси)	
	Рецептура 1	Рецептура 2
Молоко	283	267
Сливки	448	423
КСБ ТМ-35	160	150
МД 20	64	60
Сахар-песок	45	100

Расчет пищевой ценности показал, что образцы, выработанные по опытным рецептурам 1 и 2, имели близкие показатели массовых долей белка и жира. Но в образцах, выработанных по рецептуре 2, выше содержание углеводов и, как следствие, выше содержание сухих веществ. Показатели пищевой и энергетической ценности смесей массой 100 г представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Пищевая, энергетическая ценность и содержание сухих веществ смесей

Table 3 - Food, energy value and dry matter content of mixtures

Показатели	Варианты рецептур	
	1	2
Массовая доля жира, %	8,9	8,5
Массовая доля белка, %	7,5	7,2
Массовая доля углеводов, %	22,0	26,5
Массовая доля сухих веществ, %	39,0	42,5
Энергетическая ценность, ккал/кДж	198/ 828	211/ 884

Из таблицы 3 видно, что разработанные рецептуры по показателю массовой доли белка значительно превышают классические виды мороженого, такие как молочное, сливочное, пломбир, в которых массовая доля белка не превышает 4 %. При этом образцы имеют сниженное содержание жира по сравнению со сливочным мороженым и пломбиром.

Органолептическая оценка показала, что оба образца имели белый цвет, равномерный

[2] Производства ООО «Крахмальный завод Гулькевичский»

по всей массе. Консистенция образцов была плотной.

Образцы, выработанные и по 1-й, и по 2-й рецептуре, имели чистый вкус и запах, без посторонних привкусов и запахов, но дегустаторы отметили привкус сухого молока, обусловленный, вероятно, КСБ ТМ-35. Разницы в сладости образцов не отмечено. Однако наблюдались сильные отличия по структуре, описание которой представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика структуры образцов

Table 4 - Characteristics of the structure of samples

Варианты	Описание структуры
Рецептура № 1	Грубая, с ощутимыми кристаллами льда
Рецептура № 2	Однородная, без ощутимых кристаллов льда, комочков жира, частичек белка

Как видно из таблицы 4, образы, выработанные по рецептуре 1, имели выраженные пороки: грубую, льдистую структуру, вызванную образованием крупных кристаллов льда. Образование крупных кристаллов льда непосредственно связано с составом смеси, а также с количеством и размером воздушных пузырьков.

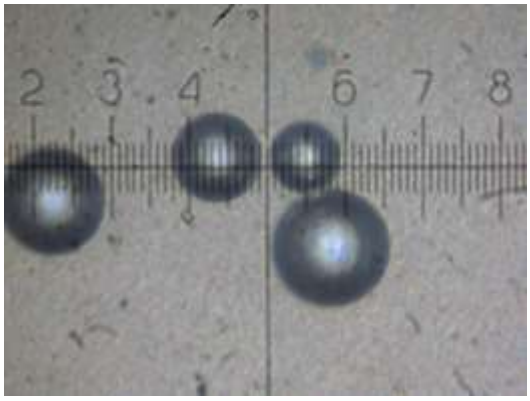
В процессе работы образцы рецептуры 2 проявили более высокую способность противостоять таянию, что подтверждено исследованием микроструктуры. На полученных снимках (рисунок 1) видно, что образцы ощутимо отличаются размерами воздушных пузырьков.

Диаметр пузырьков воздуха в образцах рецептуры 1 находился в интервале от 35 до 60 мкм, а средний их размер составлял 47 мкм. В образцах рецептуры 2, как видно на рисунке 1, диаметр воздушных пузырьков заметно больше, в среднем 58 мкм в интервале от 50 до 75 мкм.

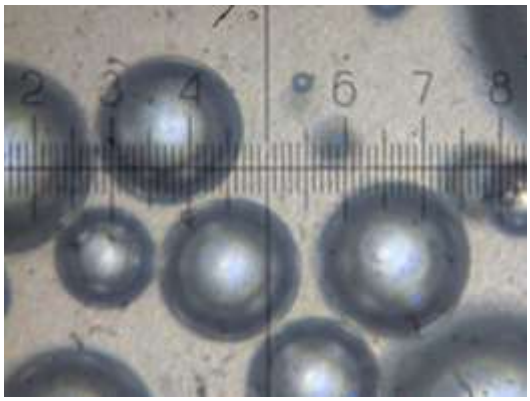
Эти данные в некоторой степени согласуются с другими исследованиями, в которых установлено, что лучшие потребительские показатели мороженого достигаются при среднем размере пузырьков дисперсной фазы не более 60 мкм [6].

Однако не только размер, но и распределение воздушных пузырьков в значительной мере влияют на структуру и консистенцию мороженого, а также на его способность противостоять таянию. Как видно на снимках, количество пузырьков в поле зрения микроскопа в образцах рецептуры 1 значительно меньше, чем в образцах рецептуры 2. Следовательно, степень насыщения воздухом в образах рецептуры 1 меньше, чем в образцах рецептуры 2.

Воздух в мороженом препятствует быстрому таянию продукта во время его употребления, предохраняет полость рта от излишнего охлаждения, способствует формированию мелкокристаллической структуры мороженого и улучшает его консистенцию [7].



а



б

Рисунок 1 – Снимки образцов мороженого (а – рецептура 1; б – рецептура 2)

Figure 1 - snapshots of ice cream samples (a - recipe 1; b - recipe 2)

В нашем случае такой эффект обусловлен, по крайней мере, двумя факторами. Во-первых, увеличением содержания сухих веществ в образцах, изготовленных по рецептуре 2. Видимо, при массовой доле сухих веществ 39,0 % в образцах рецептуры 1 было недостаточно ингредиентов для связывания свободной влаги, что привело к таким порокам консистенции, как грубая, льдистая структура. Во-вторых, внесением в рецептуры разного количества сахара-песка и, тем самым, изменением соотношения между низкомолекулярными и высокомолекулярными соединениями, как белковой, так и углеводной природы.

Несмотря на то, что в условиях эксперимента разработаны рецептуры с повышенной пищевой и биологической ценностью и массовой долей белка, превышающей данный показатель для классических видов мороженого, исследования в этом направлении необходимо продолжить. Это обусловлено тем, что улучшение структуры образца, выработанного по рецептуре 2, обусловлено увеличенным количеством сахара-песка в составе продукта, что нельзя признать оптимальным решением.

Полученные результаты исследований будут учтены при дальнейшей корректировке рецептуры мороженого с повышенной пищевой и биологической ценностью. По-видимому, соотношение ингредиентов следует вести в сторону увеличения массовой доли белка, снижения массовой доли жира и изменения соотношения между низкомолекулярными и высокомолекулярными углеводами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новокшанова А.Л. Разработка научных принципов создания продуктов спортивного питания на основе молочного сырья: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.15 / Новокшанова Алла Львовна. Москва, 2019. 487 с.

2. Применение сывороточных белков в производстве мороженого / Н.С. Богданова, И.Г. Катушонок, Л.Н. Азолкина // Ползуновский Альманах. № 4/2. 2011. С. 170–172.

3. Разработка состава высокобелкового замороженного десерта для спортивного питания на козьем молоке / Т.П. Арсеньева, М.В. Лугова, Н.В. Яковченко // Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 26–31.

4. Изучение растворимости мальтодекстрина и концентрата сывороточных белков в молочном сырье / А.Л. Новокшанова, Н.О. Матвеева, К.А. Зайцев // Современная биотехнология : актуальные вопросы, инновации и достижения : сборник тезисов Всероссийской с международным участием онлайн конференции / под общ. ред. А.Ю. Просекова; ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». Кемерово, 2020. 117 с.

5. Взаимосвязь углеводного состава мальтодекстрина и органолептических показателей концентрата творожной сыворотки, полученного нанофильтрацией / А.Л. Новокшанова, Н.О. Матвеева, А.А. Невский // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 39–43.

6. Арсеньева Т.П. Фризерование смесей : Справочник технолога молочного производства. Том 4. Мороженое ; под редакцией проф. К. К. Горбатовой. Санкт Петербург : ГИОРД, 2002. 68 с.

7. Воздух в мороженом / Ю.А. Оленев, А.А. Творогова, Н.В. Казакова, Л.Н. Соловьева // Справочник по производству мороженого ; под общей редакцией доктора техн. наук, Почетного академика Международной академии холода Ю.А. Оленева. Москва : ДеЛи принт, 2004. 53 с.

Информация об авторах

К. А. Зайцев – аспирант ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА».

А. Л. Новокшанова – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФИЦ питания и биотехнологии».

REFERENCES

1. Novokshanova, A.L. (2019). *Development of scientific principles for the creation of sports nutrition products based on dairy raw materials.* Doctoral Dissertation Moscow. (In Russ.).

2. Bogdanova, N.S., Katushonok, I.G. & Azolkina, L.N. (2011). The use of whey proteins in the production of ice cream. *Polzunovskiy Almanac.* 4(2), 170-172. (In Russ.).

3. Arsenyeva, T.P., Lugova, M.V. & Yakovchenko, N.V. (2019). Development of the composition of a high-protein frozen dessert for sports nutrition on goat's milk. *Polzunovskiy vestnik*. (2). 26-31.

4. Novokshanova, A.L., Matveeva, N.O. & Zaitsev, K.A. (2020). Studying the solubility of maltodextrin and whey protein concentrate in dairy raw materials. *Modern biotechnology: current issues, innovations and achievements: A collection of abstracts of the All-Russian online conference with international participation.* Kemerovo: Kemerovo State University. (In Russ.).

5. Novokshanova, A.L., Matveeva, N.O. & Nevsky, A.A. (2020). The relationship between the carbohydrate composition of maltodextrin and the organoleptic parameters of the curd whey concentrate obtained by nanofiltration. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 39-43. (In Russ.).

6. Arsenyeva, T.P. (2002). F*reezing mixtures. Handbook of dairy production technologist.* Volume 4. Ice cream: edited by Prof. K.K. Gorbatova. St. Petersburg: GIORD. (In Russ.).

7. Olenev, Yu.A., Tvorogova, A.A., Kazakova, N.V. & Solovyova, L.N. (2004). Air in ice cream: Handbook of ice cream production; under the general editorship of Doctor of Technology. Sciences, Honorary Academician of the International Academy of Cold. Yu.A. Olenev. Moscow : Delhi Print. (In Russ.).

Information about the authors

K. A. Zaitsev - post-graduate student of the Volgodsk State Academy of Arts.

A. L. Novokshanova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology".

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

Статья поступила в редакцию 01.11.2021; одобрена после рецензирования 25.11.2021; принята к публикации 10.12.2021.

The article was received by the editorial board on 1 Nov 21; approved after reviewing on 25 Nov 21; accepted for publication on 10 Dec 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 52–59.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 52–59.

Научная статья
05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
УДК 664.694
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.008

МАКАРОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Лариса Егоровна Мелёшкина [1], Анна Владимировна Снегирева [2], Наталья Васильевна Червякова [3]

[1, 2, 3] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[1] meleshkina_le@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0812-3630
[2] sne.anna@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2461-1848
[3] deconstructive887@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-9647-5235

Аннотация. *В статье рассмотрена возможность создания макаронных изделий функционального назначения. Для разработки макаронных изделий из муки пшеничной хлебопекарной было выбрано нетрадиционное сырье, разрешенное для использования в пищевой промышленности в соответствии с ТР ТС 021/2011. Использована мука нутовая, мука из зеленой гречки, крупа чечевичная, тыквенное пюре, льняное семя, льняные отруби, крапива двудомная. Проведена инспекция и подготовка сырья к дальнейшему использованию. Произведен расчет технологических параметров замеса, выбран средний замес, рассчитаны температурный, а также количественный диапазоны внесения питьевой воды. Выработаны образцы по традиционной технологии, рассчитаны диапазоны внесения рецептурных компонентов. Исследована эффективность формования 39 образцов с разным интервалом внесения обогатительных добавок. По результатам составлены базовые рецептуры макаронных изделий, проведена дегустационная оценка, далее базовые изделия обогащались измельченными листьями крапивы двудомной. Выбраны оптимальные сочетания компонентов, проведен физико-химический анализ. Установлены физиологические эффекты при систематическом потреблении разработанных изделий, согласно ГОСТ Р 55577 с учетом потерь пищевых веществ при тепловой обработке продуктов. На основе полученных данных сформулирован вывод о пользе разработанных макаронных изделий функционального назначения при систематическом потреблении.*

Ключевые слова: *макаронные изделия, функциональный пищевой продукт, эффективность формования, нетрадиционное сырье, крапива двудомная, физиологические эффекты.*

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

Для цитирования: Мелёшкина, Л. Е., Снегирева, А. В., Червякова, Н. В. Макаронные изделия функционального назначения // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 52–59. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.008.

© Мелёшкина, Л. Е., Снегирева, А. В., Червякова, Н. В., 2021

Original article

FUNCTIONAL PASTA PRODUCT

Larisa E. Meleshkina [1], Anna V. Snegereva [2], Natalya V. Chervyakova [3]

[1, 2, 3] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[1] meleshkina_le@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0812-3630
[2] sne.anna@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2461-1848
[3] deconstructive887@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-9647-5235

Abstract. *The article discusses the possibility of creating functional pasta. For the development of enriched pasta from wheat bakery flour, unconventional raw materials were selected that were approved for use in the food industry in accordance with TR CU 021/2011. Used chickpea flour, green buckwheat flour, lentil groats, pumpkin puree, flaxseed, flax bran, stinging nettle. Inspection and preparation of raw materials for further use was carried out. The calculation of the technological parameters of the batch was made, the average batch was selected, the temperature, as well as the quantitative range of the introduction of drinking water was calculated. Samples have been developed using traditional technology. Ranges for the addition of the recipe components were theoretically calculated. Then, the efficiency of molding was tested on 39 samples with different intervals of adding enrichment additives. Based on the results, basic recipes of pasta were compiled, a tasting assessment was carried out, then the basic products were enriched with chopped leaves of dioecious nettle. The best combinations were selected, physical and chemical analysis was carried out. The physiological effect is indicated with the systematic use of the developed products in accordance with GOST 55577, taking into account the loss of nutrients during the heat treatment of products. Analyzing the data obtained, a conclusion was drawn about the benefits of the developed functional pasta.*

Keywords: *pasta, nutrient, fortifier, functional food product, molding efficiency, non-traditional raw materials, stinging nettle, physiological effect.*

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*:* Meleshkina, L. E., Snegereva, A. B. & Chervyakova, N. V. (2021). Functional pasta product. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 52-59. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.008.

На здоровье человека оказывает влияние множество факторов, одним из которых является питание. Важнейшим направлением политики государства в области профилактики алиментарно-зависимых неинфекционных заболеваний является создание продуктов питания функционального назначения. Целесообразно модифицировать состав популярных у населения, а также социально значимых традиционных продуктов питания, в которых наблюдается дефицит физиологически значимых нутриентов. Для производства таких продуктов используют сырье животного и растительного происхождения, а также готовые витаминно-минеральные комплексы.

Макаронные изделия входят в перечень социально-значимых продовольственных товаров первой необходимости. По данным исследований Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, отечественный рынок макаронных изделий к 2019 г. вырос году на 6 % в сравнении с 2015 г. Потребление макаронных изделий на душу населения к 2020 г. составило около 10,11 кг/чел, что на 3 % выше уровня 2019 г. и на 28 % выше, чем в 2015 г. [1]. Данная информация доказывает значимость указанного продукта питания в рационе, его распространенность и общедоступность в питании населения. Кроме того, быстрое приготовление и высокая насыщаемость блюдами из макаронных изделий способствуют популярности у потребителя. Следует отметить, что традиционные изделия при всех имеющихся достоинствах все же бедны макро- и микронутриентами, что дает основание для разработки обогащенных и функциональных макаронных изделий.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка рецептур макаронных изделий функционального назначения и оценка ожидаемых физиологических эффектов при их систематическом потреблении.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- обосновать выбор сырья для макаронных изделий функционального назначения;
- исследовать влияния рецептурных компонентов на эффективность процесса формования;
- определить соотношение рецептурных компонентов, обеспечивающих наилучшие органолептические показатели макаронных изделий функционального назначения;
- исследовать соответствие физико-химических характеристик новой продукции нормативным требованиям;
- установить ожидаемые физиологические эффекты, формируемые при систематическом потреблении новой продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

Объектом исследования явились изделия макаронные функционального назначения, выработанные с использованием семян льна, пюре тыквенного, чечевичной крупы, муки нутовой, отрубей льняных, муки из зеленой гречки и крапивы двудомной. Качество и безопасность исходного сырья соответствовало требованиям нормативной документации и ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Дегустационная оценка разработанных изделий осуществлялась путем дескрипторно-профильного анализа, сочетающего теорию создания дескрипторной модели и модели количественного определения интенсивности в соответствии с ГОСТ ISO 13299-2015 [3].

Определение кислотности макаронных изделий; массовой доли сухих веществ, перешедших в варочную воду; влажности проводили по ГОСТ 31964-2012 [5].

Эффективность формования изделий оценивали объемно-весовым методом. Оценку ожидаемых физиологических эффектов проводили по ГОСТ Р 55577-2013 [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проектирование макаронных изделий для направленного улучшения ряда физиологических функций включает планирование композитной смеси сухих компонентов, входящих в рецептуру. Для обогащения традиционных макаронных изделий используется различное сырье растительного происхождения, в том числе лекарственные травы [7]. Биологически ценный нутриентный состав семян льна, пюре тыквенного, чечевичной крупы, муки нутовой, отрубей льняных, муки из зеленой гречки определил выбор данного сырья в качестве рецептурного компонента проектируемых изделий. Мука из зернобобовых богата белками, пищевыми волокнами, витаминами группы В, калием, магнием, цинком, железом, фосфором, медью, марганцем, способными удовлетворить более 15 % от суточной потребности. Мука из зеленой гречки ценна белками, пищевыми волокнами, витаминами группы В, цинком, магнием, способными удовлетворить более 15 % от суточной потребности. Следует отметить биофлавоноиды, свойственные зеленой гречке, которые способны останавливать биологическое аэробное окисление органических веществ [9]. Также, говоря об отличиях, касающихся структурно-механических свойств, необходимо отметить, что водопоглотительная способность муки из зеленой гречки выше, чем у муки из пропаренного зерна.

Анализ рецептурного состава с позиции формирования функциональных свойств позволил установить диапазоны внесения растительного сырья от 4,5 до 45,4 г на 100 г готовой продукции.

Макаронные изделия изготавливали традиционным способом. При подготовке сырья муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта, муку нутовую, муку из зеленой гречки, подвергали просеиванию через металлотканое сито № 1.2. Семена льна измельчали и просеивали через металлотканое сито № 2.0. Для выработки образца с чечевичной мукой крупу измельчали и просеивали через сито № 2.0. Для подготовки тыквенного пюре сырую тыкву промывали, очищали, припускали в собственном соку и подвергали пюрированию с помощью измельчающего устройства.

Для приготовления тестовых масс был использован замес с влажностью теста 42 %. Количество добавленной воды, установленное расчётным путем, составило от 10,0 г до 51,7 г. Расчетная температура теста составила от 50,2 до 58,8 ºС.

Структурно-механические свойства являются важнейшим критерием качества макаронных тестовых масс, влияющим на сохранность формы, структуру и потребительские достоинства продукции. Поэтому проведена оценка эффективности формования, которая для высококачественных изделий должна составлять не менее 90 %. На рисунке 1 показано влияние соотношения компонентов на эффективность формования.

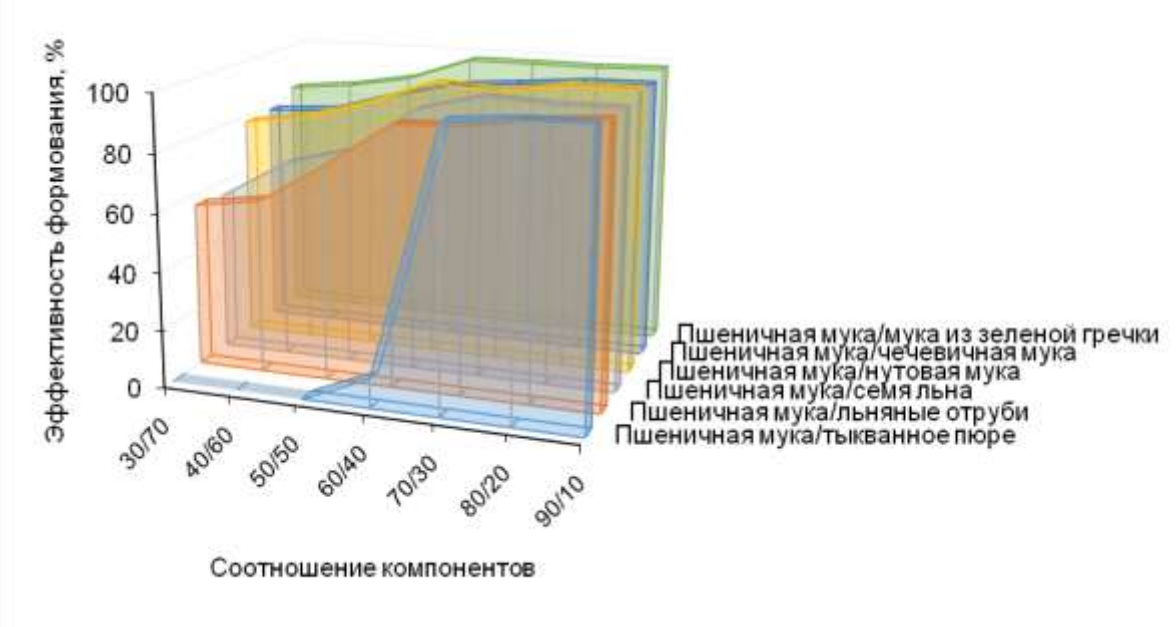


Рисунок 1 – Влияние соотношения компонентов на эффективность формования

Figure 1 - The effect of the ratio of components on the molding efficiency

Из представленных данных видно, что значения эффективности формования для теста с содержанием тыквенным пюре до 40 г составляет 10 %, изделия разваливаются. При уменьшении содержания тыквенного пюре до 30 г наблюдается резкое повышение эффективности формования. Аналогичную зависимость можно наблюдать для тестовой массы с льняными семенами и отрубями. При добавлении сырья из бобовых культур реологические свойства ухудшаются, начиная с дозировки бобовых 50 % и более (эффективность формования 86,7 % для чечевичной крупы и 87 % для нутовой муки). Наилучшими показателями формования обладает тесто с мукой из зеленой гречки, эффективность формования которого увеличивается от 94 % до 98,7 % в диапазоне внесения гречневой муки от 40 % до 10 %.

На следующем этапе в рецептуры внесено сырье – крапива двудомная, поскольку она богата витаминами К, С, бета-каротином, железом, медью. Включение в состав макаронных изделий порошка крапивы способствует улучшению функции сердца и легких, профилактике хронических заболеваний печени и желчных путей. Рекомендуемые дозировки внесения порошка крапивы составляют от 2 % до 10 % к массе муки [2, 8].

При применении крапивы двудомной (Urtica dioca l.) использовали собранные во время цветения и высушенные листья, которые измельчали и просеивали через металлотканое сито № 2.0. Дальнейшая технология выработки макаронных изделий с крапивой включает традиционные технологические операции и режимы.

Для выявления наилучшего сочетания компонентов и целесообразности дальнейших исследований разработаны шесть рецептур макаронных изделий. Для проектирования в готовой продукции высокого содержания меди, марганца и бета-каротина диапазон внесения порошка крапивы составил от 7,5 % до 20 % к массе муки. По состоянию изделий после варки и результатам визуальной оценки выбраны образцы, представленные на рисунке 2 – сочетания муки нутовой и крапивы двудомной (№ 11) и муки из зеленой гречки и крапивой двудомной (№ 9).

Учитывая тот факт, что органолептические свойства готовой продукции оказывают непосредственное влияние на дальнейший спрос, был проведен сенсорный анализ потребительских качеств – дегустационная

оценка. В ходе оценки применялся дескрипторно-профильный анализ. Были установлены дескрипторы «внешний вид», «вкус», «запах», «цвет», и «структура после варки». Анализ был проведен с введением коэффициентов весомости органолептических показателей: внешний вид, вкус, структура – 5; запах – 3; цвет – 2. Общая балльная оценка равна 100.

а) образец с крапивой двудомной и мукой из зеленой гречки (№ 9)
б) образец с крапивы двудомной и мукой нутовой (№ 11)

Рисунок 2 – Сложнокомпонентные макаронные изделия

Figure 2 - Complexcomponent macaroniproducts

В ходе анализа была проведено ранжирование исследуемых образцов по результатам дегустационной оценки. Характеристика «очень хорошие» присуждается образцам, которые имеют оценочный балл не ниже 95; «хорошими» изделия считаются в том случае, если сумма баллов составляет от 85 до 94; «удовлетворительные» изделия имеют сумму баллов от 80 до 84; «неудовлетворительные» изделия, не соответствующие заявленным требованиям, – это изделия с общей суммой баллов ниже 80. Информация из листов дегустации подвергалась статистической обработке по каждому из заявленных дескрипторов.

С целью визуализации характеристик каждого образца использована графическая профилограмма (рисунок 3). Установлено, что все образцы имеют высокие показатели дескрипторов дегустационной оценки и могут характеризоваться как «хорошие» и «очень хорошие».

Рисунок 3 – Дегустационная оценка образцов

Figure 3 - Tastinge valuation of samples

Для выявления нормативных физико-химических характеристик исследовали ряд стандартных показателей.

Влажность всех изделий находится в диапазоне от 8,3 % до 12,7 % и не превышает предельную нормативную величину – 13 % (рисунок 4).

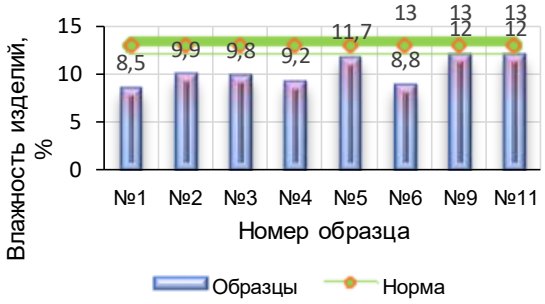


Рисунок 4 – Влажность образцов

Figure 4 - Humidity of samples

Кислотность образцов не превышает установленного стандартом значения 4 град [4] (рисунок 5).

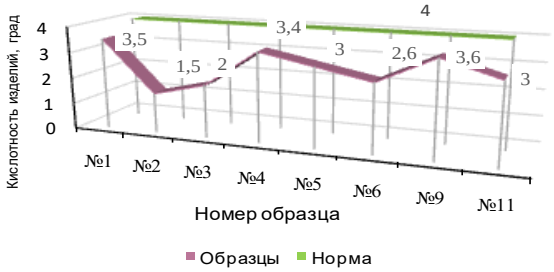


Рисунок 5 – Кислотность образцов

Figure 5 - Acidity of samples

Содержание сухих веществ, перешедших в варочную воду, характеризующее интенсивность замеса и процесс набухания белков, находится ниже стандартных значений, установленных ГОСТ 31743-2017 [4] на уровне не более 6 %. Таким образом, разработанные макаронные изделия имеют характеристики качества не ниже требований, предъявляемыми нормативной документацией на данные вид изделий.

При проектировании изделий функционального назначения особенно важно оценить ожидаемые физиологические эффекты, которые могут сформироваться при систематическом потреблении продукции.

При приготовлении макаронных изделий обязательно проводится тепловая обработка. Вызванные ею физико-химические изменения приводят к потерям питательных веществ. Поэтому при выявлении физиологических эффектов, представленных в таблице 1 в соответствии с ГОСТР 55577 [6, 10], были учтены потери при тепловой обработке.

Таблица 1 – Физиологические эффекты, формируемые при употреблении продуктов

Table 1 - The physiological effect in use of products

Нутриенты	Макаронные изделия (состав)	Физиологические эффекты
Белки	- с чечевичной крупой; - с нутовой мукой; - с отрубями льняными	Способствует наращиванию мышечной массы
Клетчатка	- с льняными семенами; - с чечевичной крупой; - с нутовой мукой; - с отрубями льняными; - с мукой нутовой и крапивой двудомной	Нормализация работы кишечника
Магний	- с льняными семенами; - с тыквенным пюре; - с мукой из зеленой гречки; - с льняными отрубями; - с мукой из зеленой гречки и крапивой двудомной	Нормальное функционирование мышц, в том числе сердечной мышцы
Фосфор	- льняными семенами; - с чечевичной крупой; - с отрубями льняными	Нормализация состояния костей
Железо	- льняными семенами; - с чечевичной крупой; - с нутовой мукой; - с отрубями льняными; - мукой из зеленой гречки и крапивой двудомной; - с нутовой мукой и крапивой двудомной	Нормализация энергетического обмена; нормализация синтеза гемоглобина и миоглобина; нормализация транспорта кислорода в организме
Селен	- льняными семенами; - с чечевичной крупой; - с мукой из зеленой гречки; - с нутовой мукой; - с отрубями льняными; - мукой из зеленой гречки и крапивой двудомной; - с нутовой мукой и крапивой двудомной	Защита клеток от окислительного повреждения; нормализация функционирования щитовидной железы
Марганец	- льняными семенами; - с тыквенным пюре; - с мукой из зеленой гречки; - с нутовой мукой; - с отрубями льняными; - мукой из зеленой гречки и крапивой двудомной; - с нутовой мукой и крапивой двудомной	Участвует в метаболизме аминокислот, холестерина, углеводов
Витамин B_1	- льняными семенами; - с чечевичной крупой; - мукой из зеленой гречки и крапивой двудомной	Нормализация энергетического обмена
Витамин B_6	- с мукой из зеленой гречки; - с нутовой мукой; - с отрубями льняными; - мукой из зеленой гречки и крапивой двудомной	Нормализация энергетического обмена; нормализация работы нервной системы
Витамин B_9	- с нутовой мукой; - с нутовой мукой и крапивой двудомной	Нормализация энергетического обмена
Бета каротин	- с тыквенным пюре; - мукой из зеленой гречки и крапивой двудомной; - с нутовой мукой и крапивой двудомной	Синтезирует витамин А; нейтрализация радионуклидов
Витамин А	- с тыквенным пюре	Нормализация состояния кожных покровов и слизистых оболочек
Витамин К	- с нутовой мукой и крапивой двудомной	Нормализация свертывания крови

Анализируя таблицу, следует отметить, что макаронные изделия функционального назначения с различными обогатительными добавками обладают разнообразными физиологическими эффектами.

Модифицированные макаронные изделия способствуют расширению ассортимента производимой продукции для здорового питания массового потребления.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкспорт : макаронные изделия : сайт. Москва, 2021. URL : https://mcx.gov.ru/ upload/ iblock/d3f/d3f62666f87503898664086dbb41d0d3.pdf (дата обращения 12.06.2021).

2. Влияние порошка крапивы двудомной на качественные показатели макаронных изделий / Т.Б. Ахлан, Г.Е. Жумалиева, Б.Ж. Мулдабекова // Вестник Алматинского технологического университета. 2020. № 3. С. 52–56. URL: https://readera.org/read/140250904 (дата обращения 10.09.2021).

3. 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.

4. ГОСТ 31743-2017. Изделия макаронные. Общие макаронные изделия : введен впервые : дата введения 2019-01-01 / разработан ООО «Макарон-Сервис». Москва :Стандартинформ, 2019. 9с.

5. ГОСТ 31964-2012. Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества: межгосударственный стандарт : дата введения 2014-01-01. // Техэксперт : справочно-правовая система : сайт. Режим доступа: из читальных залов библиотеки. Текст : электронный.

6. ГОСТ Р 55577-2013. Пищевые продукты функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности: введен впервые : дата введения 2015-01-01 / разработан ФГБУ «НИИ питания РАМН». – Москва : Стандартинформ, 2014. 16 с.

7. Совершенствование технологий хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий функционального назначения : монография // С.Я. Корячкина, Г.А. Осипова, Е.В. Хмелёва и др. Орел : ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. 262 с. URL : http://oreluniver.ru/file/chair/thkimp/study/Koryachkina_soversh_tehnologiy.pdf (дата обращения 15.06.2021 г.).

8. Использование порошка из листьев крапивы при производстве макаронных изделий / Н.В. Праздничкова, О.А. Блинова, А.П. Троц // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие аграрной науки и образования» / Махачкала, 23 декабря 2015 г. 2016. С. 194–197. URL : https://www.elibrary.ru/item.asp?id= 27292463 (дата обращения 14.10.2021).

9. Совершенствование ассортимента и оценка диетических свойств мучных изделий с использованием гречневой муки : автореферат : 05.18.01 / Саитова Маргарита Эдуардовна. Москва, 2018. 23 с.

10. Химический состав блюд и кулинарных изделий. Том 2 / Под редакцией проф., д-ра тех. наук И.М. Скурихина и академика РАМН М.Н. Волгарева. 2-е издание. Москва : Журн. агентство «Гласность».1994. – 303 с.

Информация об авторах

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

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

Н. В. Червякова – магистрант кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Agroexport. (2021). *Pasta products.* Received from https://mcx.gov.ru/upload/iblock/d3f/d3f62666f87503898664086dbb41d0d3.pdf. (In Russ.).

2. Akhlan, T.B., Zhumalieva, G.E. & Muldabekova, B.J. (2020). The effect of nettle powder on the quality of pasta. *Bulletin of the Almaty Technological University*. (3). 52-56. Received from https://readera.org/read/140250904. (In Russ.).

3. Organoleptic analysis General guidelines for the composition of the organoleptic profile : introduced first. (2015). *HOST ISO 13299-2015 from 1 Jan 2015.* Moscow : Standartinform. (In Russ.).

4. Macaroni products. General pasta : introduced for the first time.(2019). *HOST 31743-2017: from 1 Jan 2019.* Moscow : Standartinform. (In Russ.).

5. Macaroni products. Acceptance rules and quality determination methods : interstate standard. (2014). HOST 31964-2012 from 1 Jan 2014. Received from Techexpert : legal reference system. (In Russ.).

6. Functional food products. Information about the distinctive features and effectiveness: introduced for the first time. (2015). HOST R 55577-2013 from 1 Jan 2015. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

7. Koryachkina, S.Ya., Osipova, G.A., Khmeleva, E.V. & et al. (2012). Perfection of technologies of bakery, confectionery and pasta of functional purpose: monograph. Orel : FSBEI HPE Gosuniversitet UNPK. Received from http://oreluniver.ru/file/chair/thkimp/ study/Koryachkina_soversh_tehnologiy.pdf. (In Russ.).

8. Prazdnikova, N.V., Blinov, A.O. & Trots, A.P. (2016). Using the powder from the leaves of the nettle, when productionve pasta: collection of scientific works of the International scientific-practical conference "Innovative development of agricultural science and obrazowania". Makhachkala. Received from https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27292463. (In Russ.).

9. Saitova, M.E. (2018). *The improvement of hthat and assessment of the dietary properties of the flour with buckwheat flour*. PhD Thesis. Moscow. (In Russ.).

10. Chemical composition of dishes and culinary products. Volume 2 (1994). Edited by Prof., Doctor of Technical Sciences I.M. Skurikhin and Academician of the Russian Academy of Medical Sciences M.N., Volgareva. Moscow : Journal. agency "Glasnost". (In Russ.).

Information about the authors

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

A. V. Snegireva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Food Technology" of the Polzunov Altai State Technical University.

N. V. Chervyakova - Master's student of the Department of "Food Technology" of the Polzunov Altai State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 14.10.2021; одобрена после рецензирования 12.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 14 Oct 21; approved after reviewing on 12 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 60–69.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 60–69.

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.2072-8921.2021.04.009

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ КАЛЛУСНЫХ И КОРНЕВЫХ КУЛЬТУР *PANAX GINSENG*

Анастасия Михайловна Федорова [1], Анна Ивановна Лосева [2], Любовь Сергеевна Дышлюк [3], Варвара Ивановна Минина [4],

[1, 2, 3, 4] Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
[1] anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-8071-4411
[2] losevaa@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4037-2653
[3] soldatovals1984@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7333-8411
[4] vminina@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0003-3485-9123

Аннотация. *Panax ginseng является самым ценным и известным тонизирующим препаратом в традиционной китайской медицине. В нем сосредоточено значительное количество биологически активных веществ, которые имеют антиоксидантные, антимикробные, противоопухолевые и противовоспалительное воздействие. Целью данного исследования является оптимизация параметров экстракции для извлечения биологических активных соединений из каллусных и корневых культур Panax ginseng, используя различные виды растворителей. В ходе работы установлены оптимальные условия культивирования каллусной и корневой культуры Panax ginseng: для каллусной культуры Panax ginseng выбраны питательные среды, при которых образуется более плотная каллусная культура, для корневой культуры установлен штамм Agrobacterium rhizogenes, способствующий эффективной трансплантации корней Panax ginseng. По полученным данным определены рабочие параметры экстрагирования: органическим растворителем для каллусной культуры Panax ginseng является ацетон, для корневой – диэтилового эфир, гидромодуль все всех клеточных культур составил 1:10, время экстракции для каллусной культуры Panax ginseng – 360 мин, для корневой – 60 мин, температура экстракции каллусной и корневой культуры Panax ginseng – 50 °С. С помощью метода ТСХ дана оценка общего содержания кофейной кислоты, рутина, экдистеронов, мангиферина, кверцетина, флавоногликозидов, апигенинов, кодонопсина, кардиофолина и колеофолида. Высокое содержание рутина (2,23±0,11 мг/кг) отметилось для экстрактов каллусной культуры Panax ginseng, а для экстрактов корневой культуры Panax ginseng – апегенин (12,30±0,62 мг/кг). В случае метода ВЭЖХ в экстрактах были установлены органические кислоты. Экстракты каллусных и корневых культур Panax ginseng содержали в себе максимальное количество фумаровой кислоты (0,36±0,02 и 0,85±0,05 мг/кг).*

Ключевые слова: *лекарственные растения, каллус, культуры клеток, биомасса, экстракция, биологические активные вещества.*

Финансирование: *Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», соглашение № 075-02-2018-223 от 26.11.2018, № 075-15-2019-1362 от 14.06.2019 (идентификатор проекта RFMEFI57718X0285).*

Для цитирования: *Оптимизация экстрагирования активных веществ каллусных и корневых культур Panax ginseng / А. М. Федорова [и др.].* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 60–69. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.009.

© Федорова, А. М., Лосева, А. И., Дышлюк, Л. С., Минина, В. И., 2021

Original article

OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF ACTIVE SUBSTANCES OF CALLUS AND ROOT CULTURES OF *PANAX GINSENG*

Anastasia M. Fedorova [1], Anna I. Loseva [2], Lyubov S. Dyshlyuk [3], Varvara I. Minina [4]

[1, 2, 3, 4] Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
[1] anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-8071-4411
[2] losevaa@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4037-2653
[3] soldatovals1984@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7333-8411
[4] vminina@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3485-9123

Abstract. *Panax ginseng is the most valuable and well-known tonic drug in traditional Chinese medicine, since it contains a significant number of biologically active substances that have antioxidant, antimicrobial, antitumor and anti-inflammatory effects. The purpose of this study is to optimize the extraction parameters for the extraction of biologically active compounds from callus and root cultures of Panax ginseng, using different types of solvents. In the course of the work, optimal conditions for the cultivation of the callus and root culture of Panax ginseng were established: nutrient media were selected for the callus culture of Panax ginseng, which formed a denser callus culture, a strain of Agrobacterium rhizogenes was established for the root culture, which contributes to the effective transplantation of Panax ginseng roots. According to the obtained data, the working parameters of extraction were determined: acetone is an organic solvent for the Panax ginseng callus culture, diethyl ether is for the root culture, the hydromodule of all cell cultures was 1:10, the extraction time for the Panax ginseng callus culture was 360 min, for the root culture-60 min, the extraction temperature of the Panax ginseng callus and root culture was 50 °C. The total content of caffeic acid, rutin, ecdisterols, mangiferin, quercetin, flavonoglycozdes, apigenins, codonopsin, cardiofoline and coleofolide was estimated using the TLC method. A high content of rutin (2.23±0.11 mg/kg) was noted for extracts of the callus culture of Panax ginseng, and for extracts of the root culture of Panax ginseng - apegenin (12.30±0.62 mg/kg). In the case of the HPLC method, organic acids were found in the extracts. Extracts of callus and root cultures of Panax ginseng contained the maximum amount of furmaric acid (0.36±0.02 and 0.85±0.05 mg/kg).*

Keywords: *extraction, callus, cell culture, medicinal plant, biological active substances, biomass.*

Acknowledgments: *The research was financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the Federal Program "Research in Priority Directions for the Development of the Russian Science and Technology Complex for 2014-2020", agreement No. 075-02-2018-223, November 26, 2018, and agreement No. 075-15- 2019-1362, June 14, 2019 (project identification number: RFMEFI57718X0285).*

For citation: Fedorova, A. M., Loseva, A. I., Dyshlyuk, L. S. & Minina, V. I. (2021). Optimization of extraction of active substances of callus and root cultures of Panax ginseng. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 60-69. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.009.

ВВЕДЕНИЕ

Лекарственные растения и травы применялись в системе здравоохранения во всем мире со времен человеческой цивилизации [1]. Лекарственные свойства растений обусловлены биологически активными веществами (БАВ), присутствующими в различных частях растений, известные как вторичные метаболиты [2]. Они дифференцированно распределены среди ограниченных таксономических групп в пределах растительного царства. Из двух типов метаболитов, первичных и вторичных, производимых растениями, последний включает алкалоиды, фенолы, флавоноиды, стероиды, дубильные вещества и терпены [3]. Большинство растений обладают одним или несколькими целебными свойствами, а именно: антибактериальными, антиоксидантными, противогрибковыми, противовирусными, противоопухолевыми и другими [4, 5]. Из довольно широкого спектра растительного сырья *Panax ginseng* является знаме-

нитым лекарственным растением, который сочетает в себе такие свойства [6]. На протяжении последних лет растет интерес к препаратам на основе *Panax ginseng*, в результате возникает экологическая проблема, которая подразумевает почти полное исчезновение дикоросов *Panax ginseng*. Так, например, в Сибирском федеральном округе дикорастущие формы *Panax ginseng* подвергаются массовому уничтожению, даже молодые корни дикороса, которые не достигли нескольких грамм. В результате этого *Panax ginseng* был включен в Красную книгу [7]. Следовательно, использование клеточных культур лекарственных растений становится довольно актуальным.

Технология культивирования растительных тканей оказалась потенциальной альтернативой для производства желательных биоактивных компонентов из растений, для получения достаточного количества необходимого растительного материала и для сохранения видов, находящихся под угрозой исчезновения [8]. Различные системы культивирования растительных тканей были тщательно изучены для улучшения и усиления производства БАВ из разнообразных лекарственных растений [9]. Растительные клетки являются тотипотентными, то есть клетки в культуре могут вырабатывать те же метаболиты, что и интактные растение [10, 11]. Различные стратегии, использующие систему культивирования *in vitro*, были широко изучены для улучшения производства БАВ [12]. Несколько типов клеточной культуры используются для получения желаемых метаболитов, таких как каллус, клеточная суспензия, трансформированные клетки и органы [13].

Корни лекарственного растения *Panax ginseng* уже около 2000 лет являются ценным и важным средством народной медицины в странах Восточной Азии, таких как Китай, Корея и Япония. Род «*Panax*» происходит от слова «панацея», что означает лечение от всех болезней и долголетие, физическая сила и стойкость. Главными активными компонентами *Panax ginseng* являются гинзенозиды, полисахариды, пептиды, полиацетиленовые спирты, органические кислоты, витамины, макро- и микроэлементы [14]. Гинзенозиды, группы сапонинов с тритерпеноидной даммарнной структурой, являются часто изучаемыми БАВ *Panax ginseng* [15]. Фармакологические эффекты женьшеня были продемонстрированы при раке, сахарном диабете, сердечно-сосудистой, иммунной, центральной нервной системах, включая антистрессовую и антиоксидантную активность [16].

Вследствие положительных качеств лекарственного растения *Panax ginseng* растет интерес в производстве экстрактов на его основе. С помощью экстрагирования происходит разрушение некоторых компонентов растительных клеток, в результате чего растворенные БАВ переносятся в экстрагент [17]. Существует небольшая разновидность растворителей для экстракции. Одни растворители являются полярными, к ним можно отнести воду или глицерин, такие растворители способны извлекать гликозиды, сапонины, органические кислоты и т.д. [18]. Другие растворители относятся к группе малополярной (этиловый спирт). Данная группа растворителей способна извлекать такие БАВ, как жиры, флавоноиды, эфирные масла. И к последней группе относят неполярные растворители – это хлороформ, гексан и др. Эти растворители способны извлекать воски, алколойды и сапогенины [19]. Процесс экстракции также разнообразен: мацерация, паровая или гидродистилляция, прессование, отвар, настой, перколяция и экстракция Сокслета [20].

Исходя из вышесказанного, главной целью исследования является установление рабочих параметров экстрагирования БАВ каллусных и корневых культур *Panax ginseng* и идентификация полученных БАВ.

МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали высушенную биомассу каллусных и корневых культур *Panax ginseng.*

Для получения каллусных культур *Panax ginseng* использовали следующую методику. На начальной стадии образцы растения *Panax ginseng* промывали детергентом и подвергали стерилизации. Для этого образцы помещали в 0,1 % раствор хлорида ртути (II) на 1–2 мин. Далее материал подвергали двукратному отмыванию в течение 20–25 мин в стерильной дистиллированной воде. Всю поверхность листа *Panax ginseng* разделяли на листовые пластинки скальпелем на отдельные сегменты с размером 6х6 мм. Данные сегменты применяли в качестве эксплантов, которые затем помещали на питательную агаризованную среду. Для проращивания эксплантов использовали среды с минеральной основой Мурасиге-Скуга (MS), Гамборга (B5), и Шенка Хильдебрандта (SH) с некоторым внесением гидролизата казеина (0,60 г/л), мио-инозитола (0,15 г/л), сахарозы (2–3 %), и агара (0,3–0,5 %) [21]. В ходе исследования использовали 5 вариантов сред, которые отличались минеральным и гормональным составом (кинетин, 6-БАП, НУК, 2, 4-Д).

В таблице 1 представлены все варианты питательных сред для культивирования куллу-

сных культур *Panax ginseng*. Процесс культивирования продолжался в течение 30 дней в стерильных условиях в темных помещениях при температуре 25±1 ºС и относительной влажности воздуха 65–70 %.

Таблица 1 – Состав питательных сред для культивирования каллусных культур *Panax ginseng*

Table 1 – Composition of nutrient media for cultivation of *Panax ginseng* callus cultures

Компоненты	Питательные среды на 1 л дистиллированной воды				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Минеральная основа	MS	MS	MS	B5	SH
Сахароза, г	30	30	30	30	30
Fe-ЭДТА, мл	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Гидролизат казеина, г	–	–	0,60	0,60	–
Тиамин, мг	0,10	0,10	0,20	0,10	0,20
Пиродоксин, мг	0,10	0,10	–	0,10	–
Никотиновая кислота, мг	0,50	–	0,50	0,50	–
Кинетин, мг	–	–	0,50	–	0,30
Мио-инозит, г	0,15	0,15	–	–	0,15
6-БАП	0,53	1,04	1,55	1,00	0,20
НУК	1,00	2,00	–	3,00	2,00
2,4-Д	2,00	–	–	–	–
Агар, г	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
pH	5,6–5,7	5,6–5,7	5,6–5,7	5,6–5,7	5,6–5,7

Получение корневых культур *Panax ginseng* осуществлялось по следующей методике. На первых этапах применяли стерилизацию семян лекарственного растения *Panax ginseng.* Процесс стерилизации проводился путем погружения семян на 1–2 мин в 96 % этиловый спирт, затем семена подвергали высушиванию на фильтровальной бумаге в стерильном ламинарном боксе. Дальнейшая стерилизация семян проходила в присутствии диоцида в течение 10–15 мин. Затем семена трехкратно промывали дистиллированной водой и проращивали их на среде Стрита (AS) [22] в темном помещении при температуре 25±1 ºС. Для дальнейшей работы использовали проростки семян растения *Panax ginseng,* а именно листья, которые были получены после 2–3 недельной инкубации. Для трансформации листьев применяли два вида немодифицированных штаммов почвенных агробактерий *Agrobacterium rhizogenes* A4 и *Agrobacterium rhizogenes* 15834 Swiss. Данные штаммы выращивали на питательной среде YEB следующего состава (г/л): пептон – 5,0; дрожжевой экстракт 1,0; сахароза – 5,0; $MgCl_2$ – 0,5 в течение 24 ч при 23±1 ºС на качалке при определенной скорости вращения 90 об/мин. Для получения корневых культур *in vitro* лекарственного растения *Panax ginseng* опирались на методику трансформации эксплантов, представленной в работе Е.В. Амброса и его коллег [23]. Суть методики заключалась в том, что для трансформации экспланты протыкали стерильной иглой и помещали на питательную среду B5 [24], содержащую суспензию (OD_{600} = 0,4) агробактерии. Через 24–48 ч выдерживания в бактериальной суспензии образовавшиеся эксплaниты промывали стерильной дистиллированной водой, затем удаляли излишки влаги стерильной фильтровальной бумагой и помещали на твердую питательную среду B5 (pH среды 5,5–5,6±0,2), которая уже должна содержать в своем составе антибиотик – цефотаксим («Клафоран», Великобритания) в концентрации 500 мг/л. Данный антибиотик применялся для удаления остатков агробактерий. Цикл культивирования составлял 5 недель. Культивирование корневой культуры *Panax ginseng* осуществлялось при относительной влажности 60–70 %, в темноте при температуре 26±1 ºС.

Извлечение БАВ из лекарственного растения *Panax ginsen* осуществлялось следующим образом. Исходную навеску сухого растительного сырья в количестве 3,0±0,001 г заливали растворителем в количестве 40 мл. С целью скрининга наиболее подходящего метода экстракции для получения БАВ из экстрактов каллусных и корневых культур *Panax ginseng* предварительно изучили эффективность различных растворителей (метанол, этилацетат, ацетон, изопрапанол, диэтиловый эфир, 70 % этанол). Приготовленные суспензии помещали в шейкер на 1 ч. Затем осуществляли фильтрацию полученных экстрактов через бумажные фильтры «Желтая лента» (Россия, Сартогосм) с размером пор 8–12 мкм. После фильтрации экстракты дополнительно центрифугировали при 3800 об/мин для удаления взвешенных взвесей.

Для определения фракционного состава экстрактов использовали метод тонкослойной хроматографии (ТСХ) [25]. На первом этапе с помощью стеклянного капилляра наносили небольшие пятна на специальную хроматографическую пластину. Затем пластину помещали в камеру для ТСХ. Также для количественного определения БАВ в экстрактах каллусных и корневых культур *Panax ginseng* использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) (SchimadzuLC-20AD, Япония) [26]. Диапазон детектирования для диономатричного детектора составляет 180–900 нм, скорость потока элюэнта равнялась 1 мл/мин. Для разделения веществ использовалась обра-

щенно-фазная колонка Phenomenex 250 мм 2,5 мм, с размером частиц 25 мкм, сорбент силикагель модифицированный С-18, с фенильным эндкэпированием.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 1 представлен внешний вид полученных каллусных культур Panax ginseng.

а) б)

Рисунок 1 – Каллусные культуры лекарственного растения *Panax ginseng,* выращенные на питательной среде № 2 (а) и № 4 (б)

Figure 1 - Cullus cultures of the medicinal plant *Panax ginseng* grown on nutrient medium № 2 (a) and № 4 (b)

Результаты трансформации лекарственного растения *Panax ginseng* различными штаммами *Agrobacterium rhizogenes* представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Эффективность трансформации *Panax ginseng* штаммами *Agrobacterium rhizogenes*

Table 2 - Efficiency of transformation of *Panax ginseng* by Agrobacterium rhizogenes strain

Вид штамма *Agrobacterium rhizogenes*	Общее число эксплантов, используемых в экспериментах, шт	Доля эксплантов с корнями, %
A4	75	40,0
15834 Swiss	75	26,7

Для установления эффективности различных растворителей были определены следующие значения выхода сухих веществ в экстрактах каллусной и корневой культуры *Panax ginsengu* (рисунок 2).

На рисунках 3 и 4 представлены результаты анализа оптимизации параметров экстракции БАВ каллусных и корневых культур *Panax ginseng.*

В ходе исследования был установлен температурный режим процесса экстрагирования комплекса БАВ каллусной и корневой культуры *Panax ginseng* (рисунок 4).

Изучение фракционного состава экстрактов каллусной и корневой культуры *Panax ginseng* осуществлялось с помощью ТСХ.

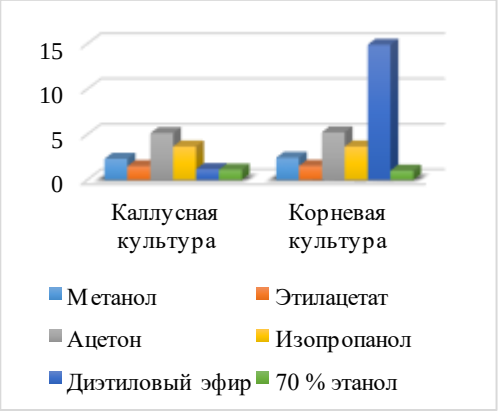
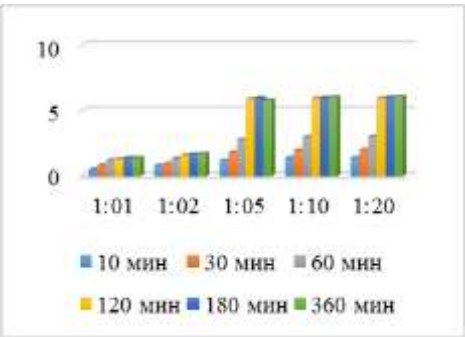
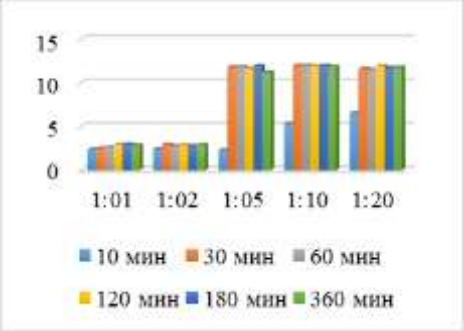


Рисунок 2 – Эффективность извлечения БАВ из биомассы клеточных культур *Panax ginseng* различными растворителями

Figure 2 - Efficiency of extraction of BAS from the biomass of *Panax ginseng* cell cultures with various solvents



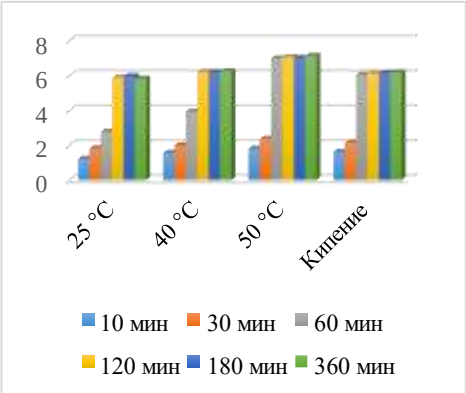
а)



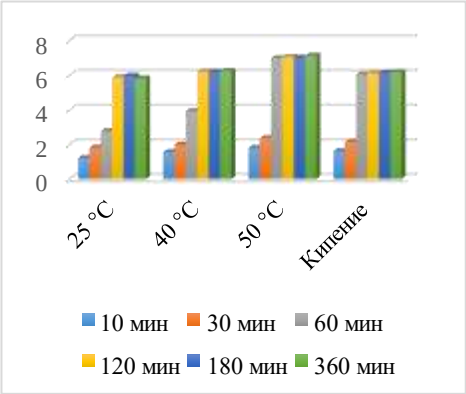
б)

Рисунок 3 – Количественный выход (%) экстракта каллусной (а) и корневой (б) культуры *Panax ginseng* в зависимости от начальной массы сырья к объему растворителя

Figure 3 - Quantitative yield (%) of the ex-tract of the callus (a) and root (b) cultures of Panax ginseng, depending on the initial mass of the raw material to the volume of the solvent



а)



б)

Рисунок 4 – Характеристика температурного режима процесса извлечения БАВ из каллусной (а) и корневой (б) культуры *Panax ginseng*

Figure 4 - Characteristics of the temperature regime of the BAS extraction process from the callus (a) and root (b) cultures of *Panax ginseng*

Анализ качественного состава экстрактов показал, что наиболее перспективными с точки зрения промышленного и технологического получения являются следующие БАВ: кофейная кислота, рутин, сумма экдистеронов, мангиферин, кверцетин, сумма флавоногликоздов, апигенин, кодонопсин, кардиофолин, колеофолид. Данные соединения вносят наибольший вклад в комплекс БАВ экстрактов, для них уже установлена биологическая активность, а их технологическое получение рентабельно, поскольку позволяет реализовать данные соединения на уже имеющемся рынке, тем самым снижая экономический риск. Таким образом, перечисленные причины определили выбор данных соединений для дальнейшего изучения их количественного содержания в каллусных и корневых культурах *Panax ginseng*. В таблице 3 представлены результаты исследования содержания БАВ, полученных из экстрактов калусной и корневой культуры *Panax ginseng*.

Таблица 3 – Результаты исследования содержания индивидуальных БАВ, полученных из экстрактов каллусной и корневой культуры *Panax ginseng*

Table 3 - Results of the study of the content of individual BAS obtained from extracts of callus and root culture of *Panax ginseng*

Наименование культуры *Panax ginseng*	Содержание БАВ, мг/кг									
	Кофейная кислота	Рутин	Сумма экдистеронов	Мангиферин	Кверцетин	Сумма флавоногликозидов	Апагенин	Кодонопсин	Кардиофолин	Колеофолид
Каллусная культура	1,32± 0,07	2,23± 0,11	0,50± 0,03	1,65± 0,22	1,32± 0,07	0,87± 0,04	2,30± 0,12	1,17± 0,06	1,12± 0,06	0,12± 0,01
Корневая культура	2,32± 0,12	10,23± 0,51	3,50± 0,18	5,24±0,26	11,32 ± 0,57	11,87± 0,59	12,30± 0,62	12,17± 0,61	12,12± 0,61	10,12± 0,51

Дополнительно с помощью метода ВЭЖХ в экстрактах каллусной и корневой культуры *Panax ginseng* определяли содержание органических кислот: фумаровой, молочной и пировиноградной. Результаты определения органических кислот, полученных из экстрактов каллусных и корневых культур *Panax ginseng*, представлены рисунке 5.

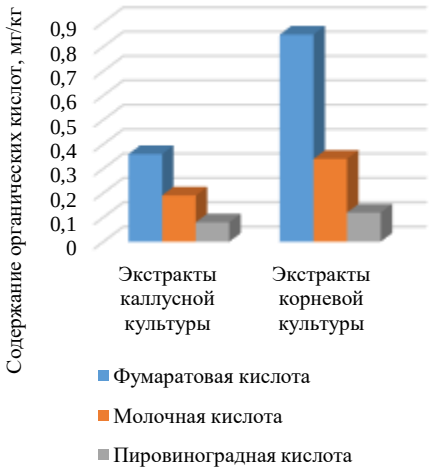


Рисунок 5 – Количественное содержание органических кислот в экстрактах, полученных из высушенной биомассы каллусных и корневых культур *Panax ginseng*

Figure 5 - Quantitative content of organic acids in extracts obtained from dried biomass of callus and root cultures of *Panax ginseng*

ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе экспериментальных работ, направленных на определение факторов, влияющих на интенсивность каллугенеза *Panax ginseng,* установлено, что большинство полученных линий куллусных культур имело плотную консистенцию и низкую степень оводненности клеток (соотношение сухая масса клеток / сырая масса клеток было в диапазоне 1/8–1/10). Цвет культур желтоватый и желтовато-бурый, реже образовывался более рыхлый светлый каллус. Анализ результатов по каллугенезу лекарственного растения *Panax ginseng* свидетельствует о том, что при использовании питательных сред № 2 с добавлением гормонов роста НУК в количестве 2,00 мг и 6–БАП в количестве 1,04 мг и № 4 с добавлением гормонов 6–БАП – 1,00 мг и НУК – 3,00 мг наблюдается образование плотной каллусной культуры со стабильной фазой роста (рисунок 1). При применении питательных сред № 1, № 3, и № 5 наблюдалось эффективное каллусообразование, но в процессе культивирования отмечалась гибель эксплантa.

Анализ результатов трансформации лекарственного растения *Panax ginseng,* представленный в таблице 2, показывает, что экспланты образуют корневые культуры *in vitro* с разной интенсивностью при применении различных штаммов *Agrobacterium rhizogenes*. Так, на примере 75 эксплантов показано, что наиболее эффективная транформация корней *Panax ginseng* происходит при использовании штамма *Agrobacterium rhizogenes* А4.

Исходя из результатов исследования, представленных на рисунке 2, выбраны органические растворители для каждой клеточной культуры. Для получения экстрактов каллусной культуры *Panax ginseng* ацетон является подходящим растворителем, так как при использовании данного растворителя выход экстракта был максимальным (5,24±0,52 %) в сравнении с другими растворителями. Максимальный выход экстракта корневой культуры *Panax ginseng* составил при использовании диэтилового эфира в размере 14,87±1,49 %

По полученным результатам анализа продолжительности экстракции каллусной культуры *Panax ginseng* (рисунок 3 (А)) можно сказать, что максимальный выход экстракта наблюдался при соотношении массы начального сырья к объему растворителя (гидромодуль) 1:10 в течение 360 мин (6,04±0,60 %). В результате исследования установлено, что дальнейшее увеличение временного значения является нецелесообразным. Данные, приведенные на рисунке 3 (Б), говорят о том, что высокий выход комплекса БАВ корневой культуры *Panax ginseng* отмечается при продолжительности от 30 до 180 мин при гидромодуле 1:10. Так, максимальный выход БАВ экстракта корневой культуры *Panax ginseng* при комнатной температуре составил 11,98±1,20 %.

Результаты оптимизации температурного режима экстракции каллусной культуры *Panax ginseng* (рисунок 4 (А)) говорят о том, что максимальный выход экстракта наблюдался при температурном режиме 50 ºС в течение 360 мин. При таких установленных параметрах выход экстракта каллусной культуры *Panax ginseng* составил 7,12±0,71 %. Из рисунка 4 (Б) следует, что максимальный выход комплекса БАВ корневой культуры *Panax ginseng* (12,40±1,24 %) наблюдается при температуре 50 ºС в течение 60 мин.

Результаты изучения содержания индивидуальных БАВ, выделенных из экстрактов каллусных и корневых культур *Panax ginseng*, свидетельствуют о том, что основными веществами, содержащимися в экстрактах, являются апигенин, рутин, кондонопсин. Для экстрактов каллусных культур *Panax ginseng* рутин является основным активным соединением, так его содержание находится в рекордном количестве (2,23±0,11 мг/кг). Высокое содержание апигенина отмечено для экстрактов корневой культуры *Panax ginseng,* его количество составляет в размере 12,30±0,62 мг/кг. Анализ результатов, представленных в таблице 3, показал, что содержание БАВ, экстракта корневой культуры *in vitro* лекарственного растения *Panax ginseng*, значительно превышает содержание БАВ экстрактов каллусной культуры *Panax ginseng*.

Количественное содержание органических кислот в экстрактах корневой культуры *Panax ginseng превышает* содержание органических кислот в экстрактах каллусной культуры *Panax ginseng (рис. 5)*. Так, фумаратовая кислота содержится в большей степени в экстрактах калллусных и корневых культурах *Panax ginseng*, в экстрактах каллусной культуры *Panax ginseng* её содержание составляет 0,36±0,02 мг/кг, а в экстрактах корневой культуры 0,85±0,05 мг/кг.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования на первом этапе установлены условия культивирования каллусных и корневых культур *Panax ginseng*. Для каллусогененеза *Panax ginseng* выбраны питательные среды № 2 и № 4. Для получения корневой культуры *Panax ginseng* выбран штамм *Agrobacterium rhizogenes* А4, так как при таком виде штамма происходила

эффективная трансформация корней *Panax ginseng*. Для установления рабочих параметров экстракции каллусной и корневой культуры *Panax ginseng* были выбраны оптимальные условия экстрагирования. Так, органическим растворителем для каллусной культуры *Panax ginseng* является ацетон, для корневой – диэтиловый эфир, гидромодуль все всех клеточных культур составил 1:10, продолжительность экстракции для каллусной культуры *Panax ginseng* составила 360 мин, для корневой – 60 мин, температурный режим экстракции составил 50 ºС. В ходе исследования БАВ при методике ТСХ в экстрактах обнаружено высокое содержание рутина (2,23±0,11 мг/кг) в экстрактах каллусной культуры *Panax ginseng*, а в экстрактах корневой культуры *Panax ginseng* – апегенин был в рекордном количестве (12,30±0,62 мг/кг). Исходя из результатов анализа ВЭЖХ, в экстрактах было отмечено присутствие органических кислот (фумаровой, молочной и пировиноградной). Так, экстракты каллусных и корневых культур *Panax ginseng* содержали в себе максимальное количество фумаровой кислоты в объеме 0,36±0,02 и 0,85±0,05 мг/кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plantas medicinais e fitoterápicos na Atenção Primária em Saúde: percepção dos profissionais [Medicinal plants and herbal medicines in Primary Health Care: the perception of the professionals] / G. Mattos [et al.] // Cien Saude Colet. 2018. № 23 (11). P. 3735–3744. doi: 10.1590/1413-812320182311.23572016.
2. Tanahashi T. [Diversity of Secondary Metabolites from Some Medicinal Plants and Cultivated Lichen Mycobionts] // Yakugaku Zasshi. 2017. № 137(12). P. 1443–1482. doi: 10.1248/yakushi.17-00147.
3. The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants / Li, Y., [et al.] // Plant Physiol Biochem. 2020. № 148. P. 80–89. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.01.006.
4. Buyel J.F. Plants as sources of natural and recombinant anti-cancer agents // Biotechnol Adv. 2018. № 36(2). P. 506–520. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.02.002.
5. Федорова А.М., Милентьева И.С. Обогащение молочной сыворотки биологическими активными веществами с антиоксидантными свойствами Thymus Vulgaris L. и Panax Ginseg C.A. Mey // Современные достижения биотехнологии. 2021. С. 318–322.
6. Biotic elicitation of ginsenoside metabolism of mutant adventitious root culture in Panax ginseng / K.C. Le [et al.] // Appl Microbiol Biotechnol. 2018. № 102(4). P. 1687–1697. doi: 10.1007/s00253-018-8751-9.
7. Гапонов В.В. Перспективы охраны и использования дикорастущего женьшеня (Panax Ginseng C. A. Mey.) в России // Проблемы региональной экологии. 2009. № 6. С. 57–63.
8. Callus cultures of thymus vulgaris and trifolium pratense as a source of geroprotectors / L.S. Dyshlyuk [et al.] // Food Processing: Techniques and Technology. 2021. № 2. С. 423–432. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-2-423-432.
9. Pant B. Application of plant cell and tissue culture for the production of phytochemicals in medicinal plants // Adv Exp Med Biol. 2014. № 808. P. 25–39. doi: 10.1007/978-81-322-1774-9_3.
10. Secondary metabolites in in vitro cultures of siberian medicinal plants: content, antioxidant properties, and antimicrobial characteristics / I.S. Milentyeva [et al.] // Foods and Raw Materials. 2021. № 1. С. 153–163.
11. Plant cell culture technology in the cosmetics and food industries: current state and future trends / R. Eibl [et al.] // Appl Microbiol Biotechnol. – 2018. № 102(20). P. 8661–8675. doi: 10.1007/s00253-018-9279-8.
12. Elicitation: A biotechnological tool for enhanced production of secondary metabolites in hairy root cultures / M. Halder [et al.] // Eng Life Sci. 2019. № 19(12). P. 880–895. doi: 10.1002/elsc.201900058.
13. Srivastava S., Srivastava A.K. Hairy root culture for mass-production of high-value secondary metabolites // Crit Rev Biotechnol. 2007. № 27(1). P. 29–43. doi: 10.1080/07388550601173918.
14. Anticarcinogenic effect of Panax ginseng C.A. Meyer and identification of active compounds / T.K. Yun [et al.] // J Korean Med Sci. 2001. № 16. P. 6–18. doi: 10.3346/jkms.2001.16.S.S6.
15. Advances on hormone-like activity of Panax ginseng and ginsenosides / M. Tian [et al.] // Chin J Nat Med. 2020. № 18 (7). P. 526–535. doi: 10.1016/S1875-5364(20)30063-7.
16. Mancuso C., Santangelo R. Panax ginseng and Panax quinquefolius: From pharmacology to toxicology // Food Chem Toxicol. 2017. 107. P. 362–372. doi: 10.1016/j.fct.2017.07.019.
17. Mesgarzadeh I., Akbarzadeh A.R., Rahimi R. Surface-Active Properties of Solvent-Extracted *Panax ginseng* Saponin-Based Surfactants // Journal of Surfactants and Detergents. 2017. № 20(3). P. 609–614. doi:10.1007/s11743-017-1940-1.
18. Optimization of extraction of polyphenolic compounds from medicinal lungwort (Pulmonaria Officinalis L.) / L.S. Dyshlyuk [et al.] // Journal of Pharmaceutical Research International. 2020. № 24. С. 36–45. DOI: 10.9734/JPRI/2020/v32i2430807.
19. Optimization of solvent extraction of shea butter (Vitellaria paradoxa) using response surface methodology and its characterization / E.O. Ajala [et al.] // J Food Sci Technol. 2016. № 53(1). P. 730–8. doi: 10.1007/s13197-015-2033-7.
20. Novel Food Processing and Extraction Technologies of High-Added Value Compounds from Plant Materials / P. Putnik [et al.] // Foods. 2018. № 7(7). P. 106. doi: 10.3390/foods7070106.
21. Получение и изучение каллусных культур клеток женьшеня вьетнамского Panax Vietnamensis Ha Et Grushv / Г.И. Соболькова [и др.] // Вестник северо-восточного федерального университета им. М.К. Ам-

мосова. 2018. № 3(65). С. 39–49. doi: 10.25587/SVFU.2018.65.14067.

22. Кузовкина И.Н., Вдовитченко М.Ю. Генетически трансформированные корни как модель изучения физиологических и биохимических процессов корневой системы целого растения // Физиология растений. 2011. № 5. С. 787–796.

23. Адаптивный ответ регенерантов Fragaria × ananassa Duch. под действием механокомпозита на основе аморфного диоксида кремния и флавоноидов зелёного чая в условиях in vitro / Е.В. Амброс [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 116–122. doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-116-122.

24. Gamborg O.L., Eveleigh D.E. Culture methods and detection of glucanases in suspension cultures of wheat and barley Can J Biochem. 1968. № 46(5). P. 417–21. doi: 10.1139/o68-063. PMID: 5658143.

25. ОФС.1.2.1.2.0003.15 «Тонкослойная хроматографи. Фармакопея.рф (pharmacopoeia.ru) (дата обращения 27.09.2021).

26. ОФС.1.2.1.2.0005.15 «Высокоэффективная жидкостная хроматография». Фармакопея.рф (pharmacopoeia.ru) (дата обращения 27.09.2021).

Информация об авторах

А. М. Федорова – младший научный сотрудник лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков НИУ, ассистент кафедры бионанотехнологии Кемеровского государственного университета.

А. И. Лосева – кандидат технических наук, начальник Управления научно-издательской деятельности Кемеровского государственного университета.

Л. С. Дышлюк – доктор технических наук, профессор кафедры бионанотехнологии, зав. лабораторией биотестирования природных нутрицевтиков НИУ Кемеровского государственного университета.

В. И. Минина – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой генетики и фундаментальной медицины Кемеровского государственного университета.

REFERENCES

1. Mattos, G., Camargo, A. (2018). Plantas medicinais e fitoterápicos na Atenção Primária em Saúde: percepção dos profissionais [Medicinal plants and herbal medicines in Primary Health Care: the perception of the professionals]. *Cien Saude Colet*, (23(11)) 3735-3744. doi: 10.1590/1413-812320182311.23572016.

2. Tanahashi, T. (2017). [Diversity of Secondary Metabolites from Some Medicinal Plants and Cultivated Lichen Mycobionts]. *Yakugaku Zasshi*. (137(12)). 1443-1482. doi: 10.1248/yakushi.17-00147.

3. Li Y, Kong D. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiol Biochem*. (148) 80-89. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.01.006.

4. Buyel, J.F. (2018). Plants as sources of natural and recombinant anti-cancer agents. Biotechnol Adv. (36(2)) 506-520. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.02.002.

5. Fedorova, A.M. & Milentyeva, I.S. (2021). Enrichment of whey with biologically active substances with antioxidant properties of Thymus Vulgaris L. And Panax Ginseg C.A. Mey. *Modern achievements of biotechnology. Global challenges and current problems of processing and use of secondary raw materials of the agro-industrial complex of Russia.* 318-322. (In Russ.).

6. Le, K.C., Im, W.T. (2018). Biotic elicitation of ginsenoside metabolism of mutant adventitious root culture in Panax ginseng. *Appl Microbiol Biotechnol*. (102(4)) 1687-1697. doi: 10.1007/s00253-018-8751-9.

7. Gaponov, V.V. (2009). Prospects for the protection and use of wild ginseng (Panax Ginseng C. A. Mey.) in Russia. Problems of regional ecology. (6) 57-63. (In Russ.).

8. Dyshlyuk, L.S., Fedorova, A.M. (2021). Callus cultures of thymus vulgaris and trifolium pratense as a source of geroprotectors Food Processing: Techniques and Technology. (2) 423-432. doi: 10.21603/2074-9414-2021-2-423-432.

9. Pant, B. (2014). Application of plant cell and tissue culture for the production of phytochemicals in medicinal plants. *Adv Exp Med Biol*. (808) 25-39. doi: 10.1007/978-81-322-1774-9_3.

10. Milentyeva, I.S., Le, V.M. (2021). Secondary metabolites in in vitro cultures of siberian medicinal plants: content, antioxidant properties, and antimicrobial characteristics. *Foods and Raw Materials*. 2021. (1) 153-163.

11. Eibl, R, Meier, P. (2018). Plant cell culture technology in the cosmetics and food industries: current state and future trends. *Appl Microbiol Biotechnol*. (102(20)) 8661-8675. doi: 10.1007/s00253-018-9279-8.

12. Halder, M., Sarkar, S. (2019). Elicitation: A biotechnological tool for enhanced production of secondary metabolites in hairy root cultures. *Eng Life Sci*. (19(12)) 880-895. doi: 10.1002/elsc.201900058.

13. Srivastava, S. & Srivastava, A.K. (2007). Hairy root culture for mass-production of high-value secondary metabolites. *Crit Rev Biotechnol*. (27(1)) 29-43. doi: 10.1080/07388550601173918.

14. Yun, T.K., Lee, Y.S. (2001). Anticarcinogenic effect of Panax ginseng C.A. Meyer and identification of active compounds. *J Korean Med Sci*. (16) 6-18. doi: 10.3346/jkms.2001.16.S.S6.

15. Tian, M., Li, L.N. (2020). Advances on hormone-like activity of Panax ginseng and ginsenosides. *Chin J Nat Med*. (18(7)) 526-535. doi: 10.1016/S1875-5364(20)30063-7.

16. Mancuso, C. & Santangelo, R. (2017). Panax ginseng and Panax quinquefolius: From pharmacology to toxicology. *Food Chem Toxicol*. (107) 362-372. doi: 10.1016/j.fct.2017.07.019.

17. Mesgarzadeh, I., Akbarzadeh, A.R. (2017). Surface-Active Properties of Solvent-Extracted *Panax ginseng* Saponin-Based Surfactants. *Journal of Sur-*

factants and Detergents, (20(3)) 609-614. doi:10.1007/s11743-017-1940-1.

18. Dyshlyuk, L.S., Fedorova, A.M. (2020). Optimization of extraction of polyphenolic compounds from medicinal lungwort (Pulmonaria Officinalis L.). Journal of Pharmaceutical Research International. (24) 36-45. doi: 10.9734/JPRI/2020/v32i2430807.

19. Ajala, E.O., Aberuagba, F. (2016). Optimization of solvent extraction of shea butter (Vitellaria paradoxa) using response surface methodology and its characterization. *J Food Sci Technol*. (53(1)) 730-8. doi: 10.1007/s13197-015-2033-7.

20. Putnik, P., Lorenzo, J.M. (2018). Novel Food Processing and Extraction Technologies of High-Added Value Compounds from Plant Materials. *Foods*. (7(7)) 106. doi: 10.3390/foods7070106.

21. Sobolkova, G.I., Kochkin, D.V. (2018). Obtaining and studying callus cultures of Vietnamese ginseng cells Panax Vietnam-sis Ha Et Grushv. *Bulletin of the Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov.* (3(65)). 39-49. doi: 10.25587/SVFU.2018.65.14067. (In Russ.).

22. Kuzovkina, I.N., Vdovitchenko, M.Yu. (2011). Genetically transformed roots as a model for studying the physiological and biochemical processes of the root system of a whole plant. Plant Physiology, (5) 787-796. (In Russ.).

23. Ambros, E.V., Kotsupiy, O.V. (2019). Adaptive response of regenerants Fragaria ananassa Duch. under the action of mechanocomposites based on amorphous silicon dioxide and green tea flavonoids under in vitro conditions. *Theoretical and applied ecology*. (4) 116-122. doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-116-122. (In Russ.).

24. Gamborg, O.L. & Eveleigh, D.E. (1968). Culture methods and detection of glucanases in suspension cultures of wheat and barley. Can J Biochem. (46(5)) 417-21. doi: 10.1139/o68-063. PMID: 5658143.

25. OFFICE.1.2.1.2.0003.15 Thin-layer chromatography / Pharmacopoeia.rf (pharmacopoeia.ru) (In Russ.).

26. OFFICE.1.2.1.2.0005.15 High-performance liquid chromatography / Fharmacopoeia.rf (pharmacopoeia.ru) (In Russ.).

Information about the authors

A. M. Fedorov - Junior Researcher of LBPN NIU, Assistant Professor of the Department of "Bionanotechnology" of the Kemerovo State University.

A. I. Loseva - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Scientific and Publishing Activities of the Kemerovo State University.

L. S. Dyshlyuk - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Bionanotechnology, Head of the laboratory of Natural Nutraceutical Biotesting Laboratory of the Kemerovo State University.

V. I. Minina - Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Genetics and Fundamental Medicine of Kemerovo State University.

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

Статья поступила в редакцию 01.11.2021; одобрена после рецензирования 18.11.2021; принята к публикации 29.11.2021.

The article was received by the editorial board on 1 Nov 21; approved after reviewing on 18 Nov 21; accepted for publication on 29 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 70–80.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 70–80.

Научная статья
05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
УДК 664.314
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.010

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ

Екатерина Юрьевна Вольф [1], Виктория Николаевна Стрижевская [2], Виктория Михайловна Козырева [3], Инна Владимировна Симакова [4], Алексей Андреевич Вольф [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Саратовский ГАУ, Саратов, Россия
[1] volftpp@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-1769-2667
[2] viktoriya_strizh@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9914-6576
[3] vika_koz_95@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8947-1006
[4] simakovaiv@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0998-8396
[5] alexwolfff@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2421-1147

Аннотация. *Для повышения эффективности прогнозирования качества продукции необходим единый систематизированный подход, основанный на иерархичности и многомерности качества, учитывающий степень влияния каждого показателя на качество в целом. Таким подходом является квалиметрическая модель. Целью исследования являлось применение квалиметрической модели для проектирования функциональной и специализированной продукции на основе масличного сырья. Объектами исследования служили купажи нерафинированных растительных масел сафлора, горчицы, рыжика и расторопши, сбалансированных по оптимальному соотношению полиненасыщенных жирных кислот. Для определения фактической квалиметрической модели в работе применялись следующие методы исследования: для определения показателей пищевой ценности и биологической эффективности применяли расчетный метод с использованием экспериментальных данных о жирнокислотном составе купажей, полученных методом газовой хроматографии, метод органолептического анализа (профильный метод). При разработке квалиметрической модели руководствовались реперными точками с подбором номенклатуры показателей, характеризующих качество купажей нерафинированных масел. Доказано, что разработанные базовые показатели качества, коэффициенты весомости по базовым показателям и группам показателей могут быть применены для прогнозирования функциональных и потребительских свойств купажей растительных масел. Фактические показатели, определяемые эмпирическим путем, подтверждают в соотношении к базовым эффективность разработанных продуктов. Авторами предлагается использовать квалиметрическую модель для прогнозирования потребительских свойств взамен или в дополнение математическим моделям, которые не могут учесть анизотропность свойств продукции.*

Ключевые слова: *купажи нерафинированных растительных масел, комплексные показатели, прогнозирование, специализированные и функциональные продукты, полиненасыщенные жирные кислоты.*

Для цитирования: *Проектирование функциональной и специализированной продукции с прогнозируемыми свойствами / Е. Ю. Вольф [и др.]* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 70–80. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.010.

© Вольф, Е. Ю., Стрижевская, В. И., Козырева, В. М., Симакова, И. В., Вольф, А. А., 2021

Original article

DESIGN OF FUNCTIONAL AND SPECIALIZED PRODUCTS WITH FORECASTING PROPERTIES

Ekaterina Yu. Volf [1], Victoria N. Strizhevskaya [2], Victoria M. Kozyreva [3], Inna V. Simakova [4], Alexei A. Volf [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Saratov State Agrarian University, Saratov, Russia
[1] volftpp@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-1769-2667
[2] viktoriya_strizh@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9914-6576
[3] vika_koz_95@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8947-1006
[4] simakovaiv@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0998-8396
[5] alexwolfff@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2421-1147

Abstract. *To improve the effectiveness of product quality forecasting, we need a single systematic approach based on hierarchy and multidimensional quality, taking into account the degree of influence of each indicator on the quality as a whole. Such an approach is the qualimetric model. The purpose of the study was to use a qualimetric model for the design of functional and specialized products based on oilseeds. The objects of the study were blends of unrefined vegetable oils of safflower, mustard, ginger and milk thistle, balanced according to the optimal ratio of polyunsaturated fatty acids. To determine the actual qualimetric model, the following research methods were used in the work: to determine the indicators of nutritional value and biological effectiveness, a calculation method was used using experimental data on the fatty acid composition of blends obtained by gas chromatography, the method of organoleptic analysis (profile method). When developing the qualimetric model, reference points were guided with the selection of a nomenclature of indicators characterizing the quality of blends of unrefined oils. It is proved that the developed basic quality indicators, weighting coefficients for basic indicators and groups of indicators, can be used to predict the functional and consumer properties of vegetable oil blends. The actual indicators determined empirically confirm the effectiveness of the developed products in relation to the basic ones. The authors propose to use a qualimetric model to predict consumer properties instead of or in addition to mathematical models that cannot take into account the anisotropy of product properties.*

Keywords: *blends of unrefined vegetable oilsl, complex indicators, forecasting, specialized and functional products, fatty acids.*

For citation: Volf, E. Yu., Strizhevskaya, V. N., Kozyreva, V. M., Simakova, I. V. & Volf, A. A. (2021). Design of functional and specialized products with forecasting properties. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 70-80. (In Russ.). doi: doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.010.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остро стоит вопрос о разработке инновационных продуктов специализированного и функционального назначения. При создании многокомпонентных пищевых дисперсных систем, неустойчивых в технологическом процессе, прогнозирование изменений функциональных свойств затруднено. Это обуславливается чувствительностью к технологическим факторам, таким как режимы, особенно высокотемпературный, контакт с веществами, обладающими окислительным воздействием, в том числе кислород; также это объясняется анизотропностью свойств исходного сырья и потребностью сохранить максимально неизменным нативный профиль.

Зачастую вышеперечисленное не учитывается в современных технологических процессах и приводит к необратимой трансформации эссенциальных веществ. Проектирование современных технологий и рецептур в основном базируется на математических моделях, которые позволяют оптимизировать подход, но не учитывают всех факторов изменчивости технологического процесса и сырья. В связи с этим в технологиях функциональных продуктов нового поколения требуется смена подхода к их разработке.

Авторами предлагается базировать разработку исходя из построения квалиметриче-

ской модели. Построение квалиметрической модели для прогнозирования свойств продукции основано на реперных точках, идентифицирующих продукцию и характеризующих разрабатываемый технологический процесс. Качество прогноза будет эффективно при выявлении причинно-следственной связи показателей и разработанных процессов. При этом выбор групп показателей качества обусловлен реперными точками для конкретного продукта с учетом применяемых технологических решений.

Стоит отметить, что для получения объективной модели, характеризующий продукт по разным группам свойств, предпочтительнее применять квалиметрическую модель на основе комплексных показателей качества продукта. В соответствии с этим прогнозирование и планирование показателей качества вновь разрабатываемого продукта функциональной и специализированной направленности является важным этапом исследования. На данном этапе с помощью мыслительно-логических методов, возможно, предположить желаемые функционально-технологические свойства, исходя из предлагаемых способов обработки сырья и материалов для исследования [1].

Целью исследования являлось применение квалиметрической модели для создания рецептур купажей нерафинированных растительных масел функционального и специализированного назначения.

Объектами исследования служили купажи нерафинированных растительных масел сафлора, горчицы, рыжика и расторопши, сбалансированных по оптимальному соотношению полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) ω-6:ω-3 5-10:1 и 3:1 [2, 3].

Методы исследования. Чтобы определить фактическую квалиметрическую модель, в работе применялись следующие методы исследования: для определения показателей пищевой ценности и биологической эффективности применяли расчетный метод с использованием экспериментальных данных о жирнокислотном составе купажей, полученных методом газовой хроматографии, метод органолептического анализа (профильный метод). Органолептический анализ проводится и регламентируется нормативными документами:

- ГОСТ 5472-50 Масла растительные. Определение запаха, цвета и прозрачности [4];
- ГОСТ 18848-2019 Масла растительные. Органолептические и физико-химические показатели. Термины и определения [5];
- ГОСТ 31986-2012 Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания [6].

При разработке квалиметрической модели руководствовались реперными точками с подбором номенклатуры показателей, характеризующих качество купажей нерафинированных масел. Наиболее значимыми показателями стали: показатели пищевой и биологической ценности – степень восполнения потребности человеческого организма в ПНЖК ω-3, ω-6 и витамина Е; показатель сохранности в неизменном виде – массовая доля продуктов окисления нерастворимых в петролейном эфире; органолептические показатели – ненавязчивость послевкусия, полнота вкусового флейвора, насыщенность запаха, полнота аромата букета.

Сопоставление фактических показателей по группам качества с запланированными базовыми предоставило возможность выделить образцы наиболее оптимальные по квалиметрическим показателям при прочих равных условиях.

В мировой практике разделение растительных масел на пищевые и технические проводится по общепризнанным показателям безопасности, в число которых входят токсичные элементы (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть), микотоксины, пестициды, радионуклиды и микробиологические показатели (БГКП, колиформы, дрожжи, плесени). Медико-биологическими исследованиями установлены предельно-допустимые концентрации этих веществ в пище, превышение которых приводит к возникновению необратимых вредных последствий для здоровья человека.

Показатели окисления растительных масел, отражающие концентрацию в них перекисных соединений (перекисное число), альдегидов и кетонов (анизидиновое число), свободных жирных кислот (кислотное число), не являются показателями безопасности пищевых растительных масел, т.к. для них не установлены предельно-допустимые концентрации. Это связано с тем, что данные показатели являются естественными характеристиками растительных масел и их значения очень различаются для разных видов растительных масел в зависимости от условий произрастания масличных растений. Так, в ТР ТС 024/2011 кислотное число для рапсового масла составляет до 6 мг КОН/г, для оливкового – от 1,6 мг КОН/г до 4 мг КОН; перекисное число для оливкового масла первого отжима, являющегося по общему признанию одним из лучших видов пищевых растительных масел, составляет до 20 ммоль ак-

тивного кислорода/кг, а для других масел – до 10 ммоль активного кислорода/кг [7].

К показателям пищевой ценности и биологической эффективности было решено отнести такие характерные показатели, как степень восполнения потребности человеческого организма в ПНЖК ω-3, ω-6 и витамина Е. выбор обоснован потенциально большим содержанием этих веществ в спроектированных купажах.

Физиологическая потребность для взрослых составляет 5–8 % от калорийности суточного рациона для ω-6 и 1–2 % – для ω-3 [3].

Усреднённый мировой показатель пищевых энергетических потребностей определён экспертами ФАО и ВОЗ в 2385 килокалорий в сутки на человека [8]. Таким образом, в сутки потребление взрослого человека кислоты ω-6 должно покрывать 119,25–190,8 ккал, ω-3 – 23,85–47,70 ккал от всего рациона.

Известно, что в сутки взрослому человеку требуется 100 грамм жиров в суточном рационе, из них 30 грамм должно приходиться на растительные жиры, следовательно, от данного количества жира растительного происхождения 5–8 % приходится на ω-6, что составляет 1,5–2,4 грамма. Из 30 грамм суточной потребности в растительных жирах 1–2 % приходится на кислоты ω-3, что составляет 0,3–0,6 грамма.

Уточненная физиологическая потребность в витамине Е для взрослых – 15 мг ток. экв./сут [3].

В связи с тем, что в рационе человека должны присутствовать другие продукты, являющиеся источниками ω-3 и 6, витамина Е, количество купажей, способных покрыть потребность организма в этих веществах, рассчитывается из дневной нормы употребления растительных масел.

Таким образом, показатели распределяются следующим образом:

- Степень восполнения потребности организма человека в ω-6:

- факт – фактические значения для всех купажей индивидуальны и представлены в таблице 3;

- база – 1,05–1,68 грамма, примем усредненное значение 1,37 грамма (принято из расчета 70 % от нормируемого содержания, обосновано тем, что в сутки человек употребляет прочие продукты, которые могут являться потенциальными источниками ω-6 кислот, тем не менее, это не гарантированно, и ω-6 кислоты могут быть подвергнуты окислительным процессам ввиду контакта с кислородом. При установлении базового показателя более 70 % имеется риск возникновения переизбытка в организме ω-6 кислот, что может инициировать начало патологического состояния инсулинорезистентности, изменить метаболизм холестерина и концентрацию метаболитов простагландина Е, что может способствовать ухудшению гормонального состояния и отрицательно влиять на репродуктивную функцию [9]);

- норма – 1,5–2,4 грамм (МР 2.3.1.2432-08), примем усредненное значение 1,95 грамма;

- коэффициент весомости – 0,2 (принят исходя из того, что в рационе человека итак содержатся продукты, содержащие эту группу ПНЖК, и их накопление в организме значительно выше по сравнению с ω-3 кислотами).

- Степень восполнения потребности организма человека в ω-3:

- факт – фактические значения для всех купажей индивидуальны и представлены в таблице 3;

- база – 0,21–0,42 грамма, примем усредненное значение 0,32 грамма (принято в разработанных продуктах учесть восполнение потребности на 70 % от нормируемого содержания, на основании того, что в сутки человек может употреблять прочие продукты, которые могут являться потенциальными источниками ω-3 кислот. В связи с этим установление базового показателя более 70 % имеется риск возникновения переизбытка в организме ω-3 кислот, что может вызвать нарушение свертываемости крови, кровотечения, тремор, тошноту, расстройства перистальтики, апатию. Могут также возникать нарушения работы желудочно-кишечного тракта [10]);

- норма – 0,3–0,6 грамма [3], примем усредненное значение 0,45 грамм;

- коэффициент весомости – 0,5 (принят исходя из того, что достичь избытка ω-3 полиненасыщенных жирных кислот в организме крайне тяжело, поскольку они очень медленно накапливаются, а также обусловлено большим соотношением с кислотами ω-6, и крайне необходимо соблюдать оптимальный баланс между ними).

- Степень восполнения потребности организма человека в витамине Е:

- факт – фактические значения для всех купажей индивидуальны и представлены в таблице 3;

- база – 3 мг ток. экв./сут (принято из расчета на 100 % от нормируемого показателя, обосновано тем, что продукты, в которых содержится витамин Е (кедровые орехи, облепиха, миндаль, фисташки и другие), не всегда употребляются в достаточном количе-

стве. Переизбыток витамина Е может способствовать тромбоцитопении и гипокоагуляции (последняя связана с нарушением всасывания витамина К), ослаблению сумеречного зрения из-за антагонизма с витамином А, диспепсическим явлениям, гипогликемии, слабости, мышечным судорогам, ослаблению потенции у мужчин [11]. Таким образом, принятое восполнение потребности в витамине Е разрабатываемыми продуктами является наиболее рациональным и целесообразным, и при таком проценте восполнения переизбыток недопустим, также благодаря тому, что витамин Е может работать как антиокислитель;

- норма – 15 мг ток. экв./сут [3];

- коэффициент весомости – 0,3 (принят из-за важности поступления витамина Е в организм человека. Являясь антиоксидантом, витамин Е играет важную роль в защите клеток организма от повреждений, вызванных свободными радикалами, которые являются высокореактивными и разрушительными соединениями, образующимися в результате окислительного ухудшения (метаболизма) полиненасыщенных жиров [11].

К показателям сохранности купажей в неизменном виде были отнесены: массовая доля продуктов окисления нерастворимых в петролейном эфире в связи с тем, что фактором риска являются не только первичные продукты окисления, но и окисленные жирные кислоты, и сополимеров, нерастворимых в петролейном эфире (СНПЭ) – вторичные продукты окисления. Поэтому данный показатель необходим для выявления полной картины безопасности. Этот показатель пока не нашел отражения в обеспечении безопасности жирового компонента других продуктов питания, хотя имеется ряд работ, свидетельствующих о необходимости его регламентации. Авторами проводились экспериментальные исследования уровня токсического воздействия продуктов окисления на организм и степени влияния именно продукции с окисленной жировой фазой, содержащей разные концентрации СНПЭ на подопытных крысах. В серии экспериментов в ходе визуального наблюдения за животными отмечено ухудшение внешнего вида волосяного покрова, агрессивность в поведении животных к середине эксперимента, которая сменилась пассивностью и апатичностью к концу кормления. Проведенные патологоанатомические и гистологические исследования показали, что во всех опытных группах крыс отмечались определенные патологические процессы на тканевом уровне, при этом наибольшие изменения имели место у животных с повышенным содержанием в рационе СНПЭ [12, 13].

Определение СНПЭ отражает реальную картину накопления токсичных продуктов окисления в растительных жирах.

Таким образом, показатель имеет следующие значения:

- факт – фактические значения для всех купажей индивидуальны и представлены в таблице 3;

- база – не более 0,8 % (обосновано тем, что при систематическом потреблении жиров, содержащих более 0,88 % СНПЭ, наблюдаются прогрессирующие негативные патологические изменения в организме (зернистая дистрофия и гиперемия печени, процессы десквамации в кишечной стенке, отек подслизистого слоя кишечника, изменение формулы крови). Такие изменения свидетельствуют о возрастании количества эозинофилов и соединений, являющихся лейкотоксинами, что в целом приводит к нарушениям в работе антиоксидантных систем защиты организма [14];

- норма – не более 1 % [15]. Данное значение соответствуют фритюрным жирам, подвергающимся многократному термическому воздействию, для нативных жиров данный показатель не нормирован. Для правильной корреляции результатов и построения квалиметрической модели данное значение можно видоизменить, приняв за нормируемый показатель – содержание неизменного жира за 99 %. Именно в этих 99 % неизменного жира нет полимерных реакций, и он не способен отрицательно влиять на организм человека.

Все остальные показатели, которые трактуются в диапазонах, не могут показать реальной картины отдельно как показатели качества в квалиметрии.

Несмотря на простоту пищевой композиции (жиры+жиры), вычленение единых критериальных показателей затруднено из-за того, что для безопасности дается диапазон.

- коэффициент весомости – 1,0 (принят из-за высокой степени негативного влияния СНПЭ на организм человека).

Из объемного спектра органолептических характеристик для сконструированных купажей были выбраны основные характеристики, непосредственно отражающие качество купажей – ненавязчивость послевкусия, полнота вкусового флейвора, насыщенность запаха, полнота аромата букета.

Таблица 1 – Спектр органолептических дескрипторов и их значение

Table 1 - The spectrum of organoleptic descriptors and their significance

Наименование дискрипторов	Баллы				
	1	2	3	4	5
Ненавязчивость послевкусия	Неприятное, вяжущее и сушащее ротовую полость послевкусие	Неприятное, обволакивающее послевкусия	Приятное, устойчивое послевкусие	Приятное, ненавязчивое послевкусие, более длящееся смывание	Приятное, бархатистое, ненавязчивое послевкусие, легко смываемое
Полнота вкусового флейвора	Низкая ощутимость букета масла, отсутствие возможности распознавания, составляющих купажа, консистенция обволакивающая, навязчивая, трудно смываемая, не различимы оттенки масел	Слабая ощутимость букета масел, с превалирующим тоном одного из составляющих купажа, консистенция обволакивающая, навязчивая, трудно различимые оттенки масел	Не выраженная ощутимость букета масел, с и трудностью распознавания нот букета, консистенция обволакивающая, слабо различимые оттенки масел	Ощутимость букета масел, с легким переходом с одного тона масла на другое, консистенция обволакивающая, бархатистая	Яркая ощутимость букета масел, входящих в состав купажа, консистенция обволакивающая, но ненавязчивая
Насыщенность запаха	Низкая ощутимость и низкая насыщенность запаха на расстоянии 15 см	Слабая ощутимость и низкая насыщенность запаха на расстоянии 15 см	Слабая ощутимость и слабая насыщенность запаха на расстоянии 15 см	Яркая ощутимость и слабая насыщенность запаха на расстоянии 15 см	Яркая ощутимость и насыщенность запаха с расстояния 15 см
Полнота аромата букета	Низкая ощутимость букета масла, отсутствие возможности распознавания составляющих купажа	Слабая ощутимость букета масел, с превалирующим тоном одного из составляющих купажа	Не выраженная ощутимость букета масел, с и трудностью распознавания нот букета	Ощутимость букета масел, с легким переходом с одного тона масла на другое	Яркая ощутимость букета масел, входящих в состав купажа

Для обоснования рецептур купажей руководствовались «Нормами физиологической потребности в энергии, пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» [3]. Учитывая, что взрослому человеку требуется 100 грамм жиров в суточном рационе, из них 30 грамм должно приходиться на растительные жиры, обоснованная порция потребления купажей в сутки составляет 20 мл.

Таблица 2 – Образцы купажей нерафинированных растительных масел

Table 2 - Samples of blends of unrefined vegetable oils

Исходные масла	Соотношение ω-6:ω-3 ПНЖК 3:1			Соотношение ω-6:ω-3 ПНЖК 5-10:1		
	Купаж № 1, %	Купаж № 2, %	Купаж № 3, %	Купаж № 4, %	Купаж № 5, %	Купаж № 6, %
Сафлоровое масло	40,0	40,0	2,0	50,0	65,0	30,0
Рыжиковое масло	40,0	30,0	–	13,5	10,0	–
Расторопшевое масло	20,0	–	3,0	36,5	–	11,0
Горчичное масло	–	30,0	95,0	–	25,0	59,0

Таблица 3 – Фактические и базовые показатели проектируемой продукции

Table 3 - Actual and basic indicators of the designed products

Код показателя	Купаж № 1 (саф+рыж+раст)			Купаж № 2 (саф+горч+рыж)			Купаж № 3 (саф+раст+горч)			Коэффициент весомости
	факт	база	Нормативный документ	факт	база	Нормативный документ	факт	база	Нормативный документ	
a										
a_1	6,79	1,37	1,95	6,23	1,37	1,95	5,27	1,37	1,95	0,2
a_2	0,40	0,32	0,45	0,45	0,32	0,45	0,36	0,32	0,45	0,5
a_3, мг ток. экв./сут	3,73	3,0	15,0	1,87	3,0	15,0	2,47	3,0	15,0	0,3
b										
b_1, %	*99,38*	*99*	*99*	*99,41*	*99*	*99%*	*99,39*	*99*	*99*	*1,0*
c										
c_1	4,7	4,5	5	5,0	4,5	5	4,8	4,5	5	0,3
c_2	5,0	4,5	5	4,9	4,5	5	5,0	4,5	5	0,3
c_3	4,6	4,5	5	5,0	4,5	5	5,0	4,5	5	0,2
c_4	4,5	4,5	5	4,8	4,5	5	4,5	4,5	5	0,2
	Купаж № 4 (саф+рыж+раст)			Купаж № 5 (саф+горч+рыж)			Купаж № 6 (саф+раст+горч)			
a										
a_1	5,51	1,37	1,95	4,89	1,37	1,95	3,49	1,37	1,95	0,2
a_2	1,03	0,32	0,45	0,92	0,32	0,45	0,81	0,32	0,45	0,5
a_3, мг ток. экв./сут	2,40	3,0	15,0	2,53	3,0	15,0	1,20	3,0	15,0	0,3
b										
b_1, %	*99,42*	*99*	*99*	*99,43*	*99*	*99*	*99,39*	*99*	*99*	*1,0*
c										
c_1	4,65	4,5	5	4,9	4,5	5	5,0	4,5	5	0,3
c_2	4,8	4,5	5	4,7	4,5	5	5,0	4,5	5	0,3
c_3	4,7	4,5	5	5,0	4,5	5	4,9	4,5	5	0,2
c_4	4,65	4,5	5	4,8	4,5	5	5,0	4,5	5	0,2

Для спроектированных купажей нерафинированных масел примем следующие группы показателей качества:

- a – показатели пищевой ценности и биологической эффективности [16, 17, 18]:

- a1 Степень восполнения потребности организма человека в ω-6;

- a2 Степень восполнения потребности организма человека в ω-3;

- a3 Степень восполнения потребности организма человека в витамине Е;

- b – показатели сохранности в неизменном виде:

- b1 Концентрация сополимеров, не растворимых в петролейном эфире (СНПЭ);

- c - органолептические показатели:

- c1 Ненавязчивость послевкусия;

- c2 Полнота вкусового букета;

- c3 Насыщенность запаха;

- c4 Полнота аромата букета.

При этом выбор групп показателей качества обусловлен реперными точками для конкретного продукта с учетом применяемых технологических решений.

Спрогнозированы желаемые базовые показатели качества по группам свойств.

Анализ квалиметрических показателей качества купажей нерафинированных растительных масел проведен дифференциальным и комплексным методами оценки качества. Использовались формулы, предложенные А. М. Бражниковым [19].

Комплексный метод применятся при необходимости охарактеризовать уровень качества показателем, который выражается обобщенным числом (такой показатель –

называется обобщенным, а оценка уровня качества – комплексный).

В начале оценки анализируют изделия и производится отбор единичных показателей качества. Результаты оценки приводят в сопоставимый вид. Вычисляют коэффициенты весомости единичных показателей, то есть выясняют значимость каждого из показателей. В заключении все значения единичных показателей качества вместе с коэффициентами их весомости объединяют в один комплексный показатель на основе выбранной математической зависимости.

Коэффициент весомости – показатель, характеризующий степень значимости отдельного показателя в общей сумме.

Коэффициенты весомости рассчитали при помощи метода ранжирования, т. е. располагали свойства объекта в порядке значимости.

Комплексный показатель качества (К) рассчитывался по формуле:

$$К = 0{,}4\Sigma maiKai + 0{,}4\Sigma mbiKbi + 0{,}2\Sigma mciKci \geq 1, \quad (1)$$

где 0,4 – коэффициент весомости показателей пищевой ценности и биологической эффективности;

0,4 – коэффициент весомости показателя сохранности в неизменном виде;

0,2 – коэффициент весомости органолептических показателей;

mai, mbi, mci – коэффициенты весомости каждого i-показателя качества;

Kai, Kbi, Kci – числовое значение каждого отдельного показателя в каждой группе свойств, определяется по формуле относительного показателя качества.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе полученных данных просчитаем комплексный показатель качества для каждого купажа:

1) К (купаж 1) = 0,4 * ((0,2*(6,79/1,37) + (0,5*(0,40/0,32)) + (0,3*(3,73/3,0)) + 0,4 * (1,0*(99,38/99,0)) + 0,2 * ((0,3*(4,7/4,5) + 0,3*(5,0/4,5) + 0,2*(4,6/4,5) + 0,2*(4,5/4,5)) = **1,04**;

2) К (купаж 2) = 0,4 * ((0,2*(6,23/1,37) + (0,5*(0,45/0,32)) + (0,3*(1,87/3,0)) + 0,4 * (1,0*(99,41/99,0)) + 0,2 * ((0,3*(5,0/4,5) + 0,3*(4,9/4,5) + 0,2*(5,0/4,5) + 0,2*(5,0/4,5)) = **0,97**;

3) К (купаж 3) = 0,4 * ((0,2*(5,27/1,37) + (0,5*(0,36/0,32)) + (0,3*(2,47/3,0)) + 0,4 * (1,0*(99,39/99,0)) + 0,2 * ((0,3*(4,8/4,5) + 0,3*(5,0/4,5) + 0,2*(4,5/4,5) + 0,2*(4,65/4,5)) = **0,88**;

4) К (купаж 4) = 0,4 * ((0,2*(5,51/1,37) + (0,5*(1,03/0,32)) + (0,3*(2,40/3,0)) + 0,4 * (1,0*(99,42/99,0)) + 0,2 * ((0,3*(4,65/4,5) + 0,3*(4,8/4,5) + 0,2*(4,7/4,5) + 0,2*(4,65/4,5)) = **1,31**;

5) К (купаж 5) = 0,4 * ((0,2*(4,89/1,37) + (0,5*(0,92/0,32)) + (0,3*(2,53/3,0)) + 0,4 * (1,0*(99,43/99,0)) + 0,2 * ((0,3*(4,9/4,5) + 0,3*(4,7/4,5) + 0,2*(5,0/4,5) + 0,2*(4,8/4,5)) = **1,21**;

6) К (купаж 5) = 0,4 * ((0,2*(3,49/1,37) + (0,5*(0,81/0,32)) + (0,3*(1,20/3,0)) + 0,4 * (1,0*(99,39/99,0)) + 0,2 * ((0,3*(5,0/4,5) + 0,3*(5,0/4,5) + 0,2*(4,9/4,5) + 0,2*(5,0/4,5)) = **1,01**.

Очевидно, что комплексный показатель качества для купажей нерафинированных растительных масел зависит от соотношения базовых и фактических показателей качества. Разработанная квалиметрическая модель позволила обосновать наиболее оптимальные параметры и отметить, что 2 и 3 образец отвечает заданным характеристикам и даже превосходит их, что, в свою очередь, позволяет отнести спроектированные купажи к продуктам функциональной и специализированной направленности. 1, 4, 5 и 6 образцы, несмотря на минимальные отклонения от нормы комплексного показателя (К ≥ 1), позволяет сделать вывод о том, что данные купажи относятся к функциональным продуктам питания.

ОБСУЖДЕНИЕ

Прогнозирование позволяет спроектировать продукцию функционального и специализированного назначения в мыслительно-логическом эксперименте, что позволит избежать значительного количества наработки экспериментальной части, при этом получить результативную экспериментальную часть при малом количестве проб. Тем не менее не все авторы [20] достигают полноценной комплексной оценки с учётом зависимости функционально-технологических свойств от состава продукции и способа его обработки. Стоит отметить, что зачастую в пищевой индустрии квалиметрия применяется в большинстве случаев для определения уровня качества, то есть подтверждения нахождения фактического качества продукта на запланированном уровне [21, 22]. Нами предлагается использовать квалиметрическую модель для прогнозирования потребительских свойств взамен или в дополнение математическим моделям, которые не могут учесть анизотропность свойств продукции. Квалиметрическое прогнозирование апробировано на сне-

ковых изделиях [1] и мучных кондитерских изделиях [23].

Нашими данными подтверждено успешное применение квалиметрической модели для прогнозирования функциональных и потребительских свойств продукции и проектирования оптимальных технологических параметров, приемов и способов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель актуальна при моделировании купажей нерафинированных растительных масел и может быть применена для расчета и проверки эффективности разработок не только для данных композиций, но и для изделий из другого растительного сырья функционального назначения при доскональном знании разработчиком технологических процессов и трансформации веществ в них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрижевская В.Н., Симакова И.В., Павленкова М.В. Разработка квалиметрической модели комбинированных снэковых изделий. Новые технологии // Newtechnologies. 2019. (1). 178–188. https://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10118.

2. Использование симплекс-метода при купажировании растительных масел с оптимальным жирнокислотным составом / В.М. Козырева, Е.Ю. Вольф, И.В. Симакова, Л.З. Шильман, Е.В. Берднова, В.П. Корсунов, Е.Н. Корсунова, Э.А. Карагулова // Технологии и продукты здорового питания : Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры «Технологии продуктов питания» 100-летию факультета ветеринарной медицины пищевых и биотехнологий / Под ред. И.В. Симаковой. Саратов, 2018. С. 104–111.

3. МР 2.3.1.0253-21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Официальное издание. М.: Роспотребнадзор, 2021.

4. ГОСТ 5472-50 Масла растительные. Определение запаха, цвета и прозрачности. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 30.06.50. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

5. ГОСТ 18848-2019 Масла растительные. Органолептические и физико-химические показатели. Термины и определения. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 июля 2019 г. N 120-П). Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019.

6. ГОСТ 31986-2012 Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 3 декабря 2012 г. N 54-П). Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019.

7. Масложировой Союз Россииофициальный сайт. URL: https://www.mzhsr.ru/news/osoboe-mnenie/ ekspertnoe-mnenie-perekisnoe-chislo-v-rastitelnyix-maslax. (дата обращения 12.09.21).

8. Прохоров Б.Б. Экология человека терминологический словарь. Р. н/Д : Феникс. 2005. 476 с.

9. Влияние омега-3 и омега-6 жирных кислот на метаболизм бифидобактерий / И.С. Хамагаева, Н.А. Замбалова, Л.В. Буянтуева // Вестник ВСГУТУ. 2014. № 2. С. 72–78.

10. Плотникова Е.Ю., Синькова М.Н., Исаков, Л.К. Роль омега-3 ненасыщенных кислот в профилактике и лечении различных заболеваний. Лечащий врач. 8: 56. 2018.

11. Panchumarthy Ravisankar, A. Abhishekar Reddy, B. Nagalakshmi, O. Sai Koushik, B. Vijaya Kumar, Panchumarthy Sai Anvith-The Comprehensive Review on Fat Soluble Vitamins. IOSR // Journal of Pharmacy. 2015. 5(11). 12–18.

12. Исследование интенсивности патогенеза в зависимости от степени окисления пальмового масла / И.В. Симакова, Р.Л. Перкель, В.В. Закревкий, М.Н. Куткина // Вопросы питания. 2016. Том. 85. № 2. С. 36.

13.Оценка санитарно-технологической безопасности жирового компонента некоторых видов снеков и мучных кондитерских изделий с длительным сроком хранения / И.В. Симакова, Ю.Ю. Елисеев, Р.Л. Перкель, И.Ю. Домницкий, А.А. Терентьев, В.Н. Стрижевская, А.Н. Макарова // Саратовский научно-медицинский журнал. 2016. Том 12. № 3. С. 333–339.

14. Симакова И.В. Научные и прикладные аспекты обеспечения безопасности продукции быстрого питания : дисс. ... доктора технических наук: 05.18.15 / Симакова Инна Владимировна; место защиты: Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс – ФГОУВПО]. Орел, 2015. 462 с.

15. СанПиН 2.3/2.4.3590-20 Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения.

16. Simakova I., Volf E., Strizhevskaya V., Popova O., Kozyreva V., Karagulova E. Blends of unrefined vegetable oils for functional nutrition // Agronomy Research. 2019. Vol. 14. № 4. P. 1761–1768.

17. ТУ-10.41.29-001-37799972-2019 Сбалансированные купажи нерафинированных растительных масел по Омега-6 : Омега-3 ПНЖК (полиненасыщенным жирным кислотам).

18.Проектирование купажей растительных масел с повышенной биологической эффективностью / Е.Ю. Вольф, И.В. Симакова, Е.В. Берднова, Е.Н. Корсунова, В.П. Корсунов, В.М. Козырева, Э.А. Карагулова // Наукоемкие технологии. Москва : Изд-во «Радиотехника», 2019. Том 20. № 5. С. 13–23.

19. Бражников А.М., Рогов И.А., Михайлов Н.А. Основы аналитической теории проектирования комбинированных пищевых продуктов //

Тез. докл. II Всер. науч.-техн. конф. «Разработка процессов получения комбинированных продуктов питания». М., 1984. С. 18–28.

20. Ремизов С.В., Маюрникова Л.В. Процесс создания и производства функциональных продуктов питания в условиях малых инновационных предприятий // Ползуновский альманах. 2011. № 4/2. С. 63–66.

21. Дунченко Н.И., Хаджу М.С., Волошина Е.С., Янковская В.С., Купцова С.В., Гинзбург М.А. Разработка элементов системы менеджмента безопасности при производстве рыбных котлет // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 105–111. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-105–111.

22. Дунченко Н.И., Свинина А.А. Управление качеством рубленых мясных полуфабрикатов на базе квалиметрического прогнозирования // Индустрия питания // FoodIndustry. 2018. Т. 3. № 3. С. 59–64. DOI: 10.29141/2500-1922-2018-3-3-9.

23. Романова Х.С. Разработка технологии фасолевого матрикса и функциональных продуктов на его основе: автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Романова Христина Сергеевна; место защиты: ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», 2019.

Информация об авторах

Е. Ю. Вольф – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

В. Н. Стрижевская – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

В. М. Козырева – магистр 2 года обучения кафедры «Технологии продуктов питания» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

И.В. Симакова – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии продуктов питания» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

А. А. Вольф – аспирант кафедры «Технологии продуктов питания» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

REFERENCES

1. Strizhevskaya, V.N., Simakova, I.V., Pavlenkova, M.V. (2019). Development of a qualimetric model of combined snack products. New technologies. *New technologies*. (1):178-188. https://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10118. (In Russ.).

2. Kozyreva, V.M., Volf, E.Yu., Simakova, I.V. , Shilman, L.Z., Berdnova, E.V., Korsunov, V.P., Korsunova, E.N. & Karagulova, E.A. (2018). The use of the simplex method for blending vegetable oils with an optimal fatty acid composition. Technologies and healthy food products : *Materials of the X International Scientific and Practical Conference dedicated to the 20th anniversary of the Department of "Food Technologies" and the 100th anniversary of the Faculty of Veterinary Medicine of Food and Biotechnology*. Edited by I.V. Simakova. Saratov. (In Russ.).

3. MP 2.3.1.0253-21 (2021). Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Moscow: Rospotrebnadzor. (In Russ.).

4. Vegetable oils. Determination of smell, color and transparency (1950). *HOST 5472-50*. Moscow: IPK Publishing House of Standards. (In Russ.).

5. Vegetable oils. Organoleptic and physicochemical indicators. Terms and definitions. (2020). *HOST 18848-2019.* Moscow: Standartinform. (In Russ.).

6. Catering services. Method of organoleptic assessment of the quality of public catering products (2012). *HOST 31986-2012*. Moscow: Standartinform.

7. Fat and Oil Union of Russia : official website. Retrieved from https://www.mzhsr.ru/news/osoboe-mnenie/ ekspertnoe-mnenie-perekisnoe-chislo-v-rastitelnyix-maslax. (In Russ.).

8. Prokhorov, B.B. (2005). Human ecology terminological dictionary. R. n/D: Phoenix. (In Russ.).

9. Khamagaeva, I.S. Zambalova, N.A. & Buyantueva, L.V. (2014). The influence of omega-3 and omega-6 fatty acids on the metabolism of bifidobacteria / I.S. Khamagaeva. *Bulletin of VSGUTU*, (2), 72-78. (In Russ.).

10. Plotnikova, E.Yu., Sinkova, M.N., Isakov, L.K. (2018). Role of omega-3 unsaturated acids in prevention and treatment of different diseases (part 2*). Lechashchijvrach*. 8 (56). (In Russ.).

11. Panchumarthy Ravisankar, A. Abhishekar Reddy, B. Nagalakshmi, O. Sai Koushik, B. Vijaya Kumar & Panchumarthy Sai Anvith (2015). The Comprehensive Review on Fat Soluble Vitamins. *IOSR Journal Of Pharmacy*, 2015, 5(11), 12-18.

12. Simakova, I.V, Parcel, R.L., Zakrevky, V.V. & Kutkina, M.N. (2016). Study of intensity of the pathogenesis depending on the degree of oxidation of palm oil*. Nutrition*, 85(2), 36.

13. Simakova, I.V., Eliseev, Y.Y., Perkel, R.L., Donskogo, I.Yu., Terent'ev, A.A., Strizhak, V.N. & Makarova, A.N. (2016). Assessment of sanitary and technological security fatty component of some types of snacks and flour confectionery products with a long shelf life. *Saratov journal of medical scientific*, 12(3), 333-339. (In Russ.).

14. Simakova, I.V. (2015). Scientific and applied aspects of ensuring the safety of fast food products. Doctoral Dissertation Orel. (In Russ.).

15. Sanitary and epidemiological requirements for the organization of public nutrition of the population (2020). *SanPiN 2.3/2.4.3590-20*. Moscow: Standartinform. (In Russ.).

16. Simakova, I., Volf, E., Strizhevskaya, V., Popova, O., Kozyreva, V., Karagulova, E. (2019). Blends of unrefined vegetable oils for functional nutrition. *Agronomy research*. 14(4), 1761-1768. (In Russ.).

17. Balanced blends of unrefined plant oils in omega-6 : omega-3 PUFA (polyunsaturated fatty acids) (2020). TU-10.41.29-001-37799972-2019. Moscow: Standartinform. (In Russ.).

18. Volf, E. Yu., Simakov, I.V., Baranova, E.V., Korsunova, E.N., Korsunov, V.P., Kozyrev, V.M. & Karagulova, E.A. (2019). Design blends of vegetable oils with high biological efficiency. Science-Intensive technology. Moscow : Publishing house "radio engineering. 20 (5), 13-23. (In Russ.).

19. Brazhnikov, A.M., Rogov, I.A. & Mikhailov, A.H. (1984). Fundamentals of the analytical theory of designing combined food products. *Tez. dokl. II Vses. nauch.-tehn. conf. "Development of processes for obtaining combined food products"*. Moscow. p. 18-28. (In Russ.).

20. Remizov, S.V. & Mayurnikova, L.V. (2011). The process of creating and producing functional food products in the conditions of small innovative enterprises. *Polzunovsky almanakh,* (4/2), 63-66. (In Russ.).

21. Dunchenko, N.I., Hadzhu, M.S., Voloshina, E.S., Yankovskaya, V.S., Kuptsova, S.V. & Ginzburg, M.A. (2019). Development of elements of the safety management system in the production of fish cutlets. *Bulletin of VSUIT*, 81 (1), 105-111. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-105-111. (In Russ.).

22. Dunchenko, N.I. & Svinina, A.A. (2018). Quality management of chopped meat semi-finished products on the basis ofqualimetric forecasting // Food industry. *Food Industry*, 3(3), 59-64. DOI: 10.29141/2500-1922-2018-3-3-9. (In Russ.).

23. Romanova, H.S. (2019). Development of technology of the bean matrix and functional products based on it: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Moscow.

Information about the authors

E. Yu. Volf - candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technologies of Food" of the Saratov State Vavilov Agrarian University.

V. N. Strizhevskaya - candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Technologies of Food" of the Saratov State Vavilov Agrarian University.

V. M. Kozyreva - master 2 years of training of the Department "Technology of Food" of the Saratov State Vavilov Agrarian University.

I. V. Simakova - doctor of technical Sciences, Professor of the Department "Technology of Food" of the Saratov State Vavilov Agrarian University.

A. A. Volf - graduate student of the Department "Technology of Food" of the Saratov State Vavilov Agrarian University.

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

Статья поступила в редакцию 01.10.2021; одобрена после рецензирования 29.11.2021; принята к публикации 30.11.2021.

The article was received by the editorial board on 1 Oct 21; approved after reviewing on 29 Nov 21; accepted for publication on 30 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 81–89.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 81–89.

Обзорная статья
05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
УДК 60-7. 604
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.011

ПЕРСПЕКТИВЫ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ БРУСНИКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Марина Викторовна Николенко [1], Вера Викторовна Тригуб [2], Владимир Григорьевич Попов [3], Светлана Александровна Белина [4]

[1, 2, 3, 4] Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
[1] novopaschinamv@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1099-0656
[2] trigubvv@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0002-4464-7346
[3] popovvg@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0002-5902-1768
[4] belinasa@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0002-0142-2905

Аннотация. *Представлен обзор научных работ отечественных и зарубежных ученых в приоритетном направлении биотехнологии. Перспективы фитобиотехнологии заключаются в разработке методологии массового воспроизводства ягодных, овощных, редких дикорастущих растений, а также ценного лекарственного растительного сырья и конструировании на его основе функциональных продуктов питания. Анализ состава и свойств биологически активных веществ, флоры Западно-Сибирского региона позволил выбрать объект для получения полифункциональных ингредиентов, а в дальнейшем – пищевых продуктов функционального назначения. Особое внимание в настоящее время привлекает метод микроклонального размножения растений in vitro для получения биологически активных микронутриентов. Клеточные культуры по сравнению с традиционным растительным сырьем имеют преимущества: возможность круглогодичного культивирования независимо от погодных условий региона, стандартизации условий выращивания, перспективы полной автоматизации процессов выращивания. Одной из моделей микроклонального размножения является каллусная культура. Растительное сырье брусники обыкновенной, выращенное in vitro, сможет стать перспективным источником пищевых ингредиентов, не зависящим от природных условий и обладающих всеми заданными свойствами. Ягоды брусники, полученные в условиях микроклонального размножения, обеспечат пищевую промышленность сырьем для производства продуктов функционального назначения.*

Ключевые слова*: фитобиотехнология, клональное размножение, микронутриенты растений, брусника.*

Для цитирования: *Перспективы микроклонального размножения брусники для производства функциональных продуктов питания / М. В. Николенко [и др.].* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 81–89 . doi: 10.25712/ ASTU.2072-8921.2021.04.011.

© Николенко, М. В., Тригуб, В. В., Попов, В. Г., Белина, С. А., 2021

Original article

PROSPECTS FOR MICROPROPAGATION OF LINGONBERRY FOR THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL FOOD

Marina V. Nikolenko [1], Vera V. Trigub [2], Vladimir G. Popov [3], Svetlana A. Belina [4]

[1, 2, 3, 4] Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
[1] novopaschinamv@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1099-0656
[2] trigubvv@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0002-4464-7346
[3] popovvg@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0002-5902-1768
[4] belinasa@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0002-0142-2905

Abstract. *An overview of scientific works of domestic and foreign scientists in the priority area of biotechnology is presented. The prospects of phytobiotechnology are in the development of a methodology for the mass reproduction of berry, vegetable, rare wild plants, as well as valuable medicinal plant raw materials and the development of functional food products based on it. Analysis of the composition and properties of biologically active substances, flora of the West Siberian region made it possible to select an object for obtaining polyfunctional ingredients, and later functional food products. Special attention is currently being paid to the method of microclonal reproduction of plants in vitro to obtain biologically active micronutrients. Cell cultures have advantages in comparison with traditional plant raw materials: the possibility of year-round cultivation regardless of the weather conditions of the region, standardization of growing conditions, and the prospect of complete automation of growing processes. Callus culture is one of the models of micropropagation. Plant raw materials of common lingonberry grown in vitro can become a promising source of food ingredients that do not depend on natural conditions and have all the desired properties. Lingonberry berries obtained under microclonal conditions will provide the food industry with raw materials for the production of functional products.*

Keywords: *Phitobiotechnology, clonal reproduction, plant micronutrients, lingonberry.*

For citation: Nikolenko, M. V., Trigub, V. V., Popov, V. G. & Belina, S. A. (2021). Prospects for micropropagation of lingonberry for the production of functional food. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 81-89. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.011.

ВВЕДЕНИЕ

Фитобиотехнология – это молодое и перспективное направление в биотехнологии, использующее клетки и ткани фотоавтотрофных эукариот, биоактивные вещества растительного происхождения (ферменты, нуклеиновые кислоты, стероиды, сложные органические соединения) [1, 2]. Данная отрасль технологии позволяет импортировать и интрадуктировать растения в суровые климатические зоны, например, арктические регионы, а также получать из них супернатанты для пищевой промышленности. Растительные клетки – уникальная модель для исследований. Они обладают свойством тотипотентности и, как прокариоты, способны культивироваться в форме неорганизованной каллусной массы в жидкой питательной среде [3]. В последние десятилетия удалось массовое размножение культивируемых растений с уникальными характеристиками, а выращивание растительных клеток стало основой для получения биологически активных соединений [4–7].

В последние годы пристальное внимание уделяется изучению биологически активных компонентов дикой флоры [8].

Ценность дикорастущих растений заключается в высокой адаптивности к условиям окружающей среды и толерантности ко многим заболеваниям. В связи с этим дикоросам присущи наиболее стабильные урожаи, а по пищевой ценности они превосходят культурные сорта [9]. Кроме того, дикорастущие вегетативные части, плоды и ягоды в настоящее время, в отличие от культивируемых растений, в период роста не обрабатываются химическими препаратами. Поэтому одним из приоритетных направлений фитобиотехнологии является разработка методологии массового воспроизводства декоративных, ягодных, овощных, редких дикорастущих растений, а также ценного лекарственного

растительного сырья, и конструирование на его основе функциональных продуктов питания, обогащенных экологически чистыми биологически активными веществами дикорастущих растений [10].

Задачей исследования является анализ и обобщение отечественных и зарубежных исследований ученых в направлении биотехнологии для улучшения пищевого статуса и оздоровления населения.

МЕТОДЫ

В данной статье использованы методы анализа и систематизации научных данных.

ОБСУЖДЕНИЕ

Рацион большинства населения, проживающего в крупных городах, дефицитен по микронутриентному составу продуктов питания. Обогащение продуктов массового потребления полезными нутриентами является решением этой проблемы и одним из приоритетных направлений [11, 12]. Информация о рекомендуемых величинах суточного потребления некоторых минорных биологически активных веществ (БАВ) растительного происхождения приведена в нормативной документации [13].

Обширное царство высших растений Западно-Сибирского региона – потенциальный источник биологически активных веществ, клеток и тканей, которые могут быть введены в культуру и, как следствие, существуют неограниченные возможности для создания новых биотехнологических процессов.

Флора Тюменской области многочисленная, разнообразная, уникальная и постоянно дополняется открытием новых видов [14, 15]. Авторами статьи проанализирован состав и свойства биологически активных веществ растений Тюменского района, которые могут служить источниками для конструирования полифункциональных ингредиентов, а в дальнейшем – пищевых продуктов функционального назначения.

Доказано, что растения синтезируют первичные метаболиты (аминокислоты, органические кислоты, пищевые волокна, витамины, минеральные элементы и др.) и вторичные метаболиты (алкалоиды, изопреноидные соединения, флавоноиды, эфирные масла, сапонины и др.) [16]. Аминокислоты применяют в пищевой промышленности в качестве пищевых добавок, для усиления вкуса и как источник белка. Органические кислоты применяют в качестве окислителей и консервантов [17, 18]. Согласно данным Н. В. Загоскиной и Л. В. Назаренко, вторичные метаболиты растений могут придавать вкус и аромат приправам, пряностям, напиткам [19].

К основным классам вторичных метаболитов относятся алкалоиды, изопреноиды, фенольные соединения, в том числе флавоноиды [20].

Многие метаболиты используются в производстве биологически активных добавок. Например, флавоноиды *Rhodíola rósea L.* обладают адаптогенными и иммуномоделирующими свойствами, арбутин *Vaccinium vitis-idaea L., Arctosaphylos uva-ursi L.* оказывает мочегонное и антисептическое действие, тимол *Thymus serpyllum L., Origanum vulgare L.* обладают антисептическим и противомикробным действием [17]. В *Crataegus laevigata L.* много флавоноидов (гиперозид, кверцетин, кверцитрин, витексин, ацетилвитексин, пиннатифидин), эфирных масел, сапонинов, гликозидов, дубильных веществ [18, 21].

Таблица 1 – Состав и область действия растительного сырья

Table 1 - Composition and scope of vegetable raw materials

Наименование растения	Наименование микронутриента	Фармакологическое действие
Рябина обыкновенная (*Sórbus aucupária*) плоды	Каротин, аскорбиновая кислота, витамины группы В, Р, органические кислоты, дубильные вещества, горечи, флавоноиды	Поливитаминное, потогонное действие, диуретический, гипотензивный и желчегонный эффект
Шиповник майский (коричный) (*Rósa majális*) и шиповник иглистый *(Rosa acicularis Pall*) плоды	Витамин С, витамины В, Е, К, Р, каротиноиды, органические кислоты, пектиновые вещества	Желчегонное и противосклеротическое, адаптогенное действие
Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea*) плоды	Каротиноиды, витамины С, РР, Е, калий, фосфор, железо, марганец, цинк, медь, органические кислоты, природные консерванты	Антисептическое, адаптогенное, поливитаминное, антиоксидантное действие, гетеропротектор
Черемуха обыкновенная (*Prúnus pádus*) плоды	Дубильные вещества, органические кислоты, жирные масла, флавоноиды	Кровоостанавливающее, вяжущее, мочегонное действие

В ягодах *Vaccinium uliginosum L.* и *Vaccínium myrtíllus L*. содержатся флавоноиды (катехин, эпикатехин, мирецетин, кверцетин, каемпферол) и фенольные кислоты, обладающие бактерицидным и антиоксидантными свойствами [22, 23]. Антоцианы ягод *Vaccinium vitis-idaea* подтверждают их антиоксидантное действие [24, 25]. Сравнительный, комплексный биохимический анализ лекарственных растений, применяемых в фитотерапии, позволил выявить перспективные виды в Тюменском регионе, содержащие значительное количество БАВ (таблица 1) [26, 27].

На основе фармакологических и микробиологических испытаний плодов предложенных растений [28, 29] наибольший интерес исследователей разных стран и регионов вызывает брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea L.*, 1753). Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea L.*, 1753), подсемейства Брусничные *(Vaccinioideae),* семейства Вересковые *(Ericaceae).* Данное растение является универсальным объектом исследования, т. к. имеет широкий ареал распространения: от западных границ европейской территории России до Дальнего Востока, в Средней Азии, Центральной и Северной Америке [30]. В Тюменской области она произрастает в лесной и тундровой зонах, в сухих и сырых хвойных, смешанных и лиственных лесах, в зарослях кустарников, на торфяных болотах. Также *Vaccinium vitis-idaea* относительно резистентна к парентеральным и сосудистым бактериозам, вирусным поражениям; легко культивируется и дает высокие урожаи на плантациях; широко применяется в кулинарии и медицине [31]. Северные территории Тюменской области характеризуются мало загрязненными почвами, а растительное сырье не содержит веществ-загрязнителей (тяжёлые металлы, пестициды, нитраты, ПХБ и др. [28, 29].

Корневище растения ползучее горизонтальное, с приподнимающимися ветвистыми побегами высотой 15–20 см, листья кожистые, на коротких черешках, яйцевидные или эллиптические, с цельными загнутыми краями, блестящие, длиной 0,5–3 см, шириной до 1,5 см, сверху темно-зеленые, снизу светло-зеленые, матовые, зимующие [32]. Цветки на коротких цветоножках обоеполые правильные, собранные по 10–20 в верхушечные густые проникающие кисти. Плоды – красные многосемянные шаровидные блестящие ягоды до 8 мм в диаметре, несущие на верхушке засохшую чашечку, кисло-сладкого вкуса. Плоды созревают в августе. Семена красновато-бурые, слегка полулунной формы.

По химическому составу все растение уникальное. Основные действующие вещества сырья – фенологликозиды, дубильные вещества, преимущественно конденсированной группы, флавоноловый гликозид гиперозид [33]. В листьях содержатся галловая, эллаговая, хинная, винная и урсоловая кислоты. Ягоды содержат сахар (до 10 %), органические кислоты (до 2 %), в числе которых лимонная, яблочная, бензойная, щавелевая, уксусная, глиоксиловая, пировиноградная, оксипировиноградная, альфа-кетоглутаровая, глюкозид вакцинин (до 0,1 %), идеинхлорид, ликопин, зеаксантин и другие. В семенах находится жирное масло (до 30 %), состоящее из глицеридов, линолевой и линоленовой кислот.

Из фенологликозидов в бруснике выявлен арбутин, который под действием фермента арбутазы расщепляется на глюкозу, гидрохинон и воду.

Показано, что арбутин подавляет перекисное окисление линолевой кислоты и утилизирует свободные радикалы в растениях, что влияет на качество продукции [34].

Фенольные соединения ягод брусники проявляют антиоксидантную активность, а содержание в них бензойной кислоты оказывает антимикробное действие [35].

Перспективным является применение биотехнологических методов для получения первичных и вторичных метаболитов растений [36, 37].

Авторы статьи изучили инновационные технологии получения нутриентов из каллусной ткани плодов брусники обыкновенной, культивируемой на жидкой или твердой питательной среде. Исследованы и модифицированы питательные среды. За основу взяты распространенные среды для культивирования клеток – MEM (Minimum Essential Medium), или среда Игла и (Dulbecco′s Modified Eagle′s Medium) модификация среды BME (Basal Medium Eagle). Среда MEM содержит 13 аминокислот, 6 водорастворимых витаминов, холин и инозит. Есть модификации среды MEM с солями Эрла и Хэнкса, а также α-модификация среды MEM с содержанием всех 21 аминокислот и солями Эрла. Среда DMEM содержит в четыре раза больше аминокислот и витаминов, а также различные добавки, улучшающие рост клеток. Для индукции пролиферативной активности культур клеток в среду MEM добавили кинетин и α-нафтилуксусную кислоту, среду DMEM обогатили 6-бензиламинопурином. Доказано, что обогащенные питательные

среды активно стимулируют деления отдельных клеток изолированных протопластов.

В исследованиях А. Н. Федоровой с соавт. исходные клеточные суспензии обычно получали из рыхлых, обводненных каллусных тканей (2–3 г на 60–100 мл питательной среды), подвергнутых обработке пектиназой и полигалактуроназой и помещенных в жидкую питательную среду, лишенную ионов кальция, но содержащую ауксин-2,4-дихлорфеноксиуксусную кислоту. Условия выращивания поддерживали в периодическом или в непрерывном режиме, специально подобранном для конкретного биообъекта. В других случаях источниками суспензионных культур могут быть протопласты с реконструированными клеточными стенками. Колонии из отдельных клеток (клоны) могут быть субкультивированы один или более раз (при необходимости), а затем переведены в суспензионные культуры [8].

Данная технология имеет ряд преимуществ: стабильный выпуск продукции в течение года; уменьшение посадочной площади; экологически чистое производство; независимость от условий внешней среды.

Дальнейшее изучение методик клеточной инженерии рисует перспективы получать биоформу растения, имеющего повышенную устойчивость к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды. Тем не менее существует ряд острых проблем в этом направлении исследований, а именно: отсутствие эффективных методов отбора in vitro устойчивых к заболеваниям регенерантов, особенно с комплексной устойчивостью к нескольким патогенам; недостаточная способность к регенерации культивируемых клеток. Поэтому разработка нетрадиционных селективных систем и поиск методов, повышающих морфогенетическую активность клеток in vitro, являются актуальными проблемами.

Инновационным направлением считается разработка технологии выращивания цельного растения из отдельных его клеток. В рамках клеточной инженерии возможно культивирование клетки в стерильных условиях лаборатории, что обеспечивает получение новых жизненных форм растений с экологически чистыми параметрами выращивать новые растения без применения полового процесса. Другое направление – использование культуры изолированных тканей для оздоровления и размножения посадочного материала. Например, метод клонального микроразмножения (КМР) растений широко использовался при культивировании тропических, цветочных и декоративных растений [4, 7]. При разработке методических подходов к клональному микроразмножению дикорастущих растений необходимо учитывать генотип исходных растений; условия асептики; подбор питательных сред и регуляторов роста, влияющих на процессы морфогенеза in vitro на разных этапах регенерации; физические факторы культивирования. В работах Н. П. Елинова (1990), Е. М. Серба с соавт. (2010) экспериментально определены условия стерилизации исходного растительного материала, концентрация и экспозиция стерилизующего реагента [3, 9]. В качестве стерилизующих веществ для освобождения от сопутствующей аутохтонной микробиоты сырья применяется 95 % этиловый спирт – C_2H_5OH, 0,08 % раствор нитрата серебра $AgNO_3$, твин 80 или твин 20.

В последние годы применяются емкости для изоляции в асептических условиях тканей из молодых растений (Sigina.USA). Их изготавливают из микропористой полипропиленовой мембраны, обработанной специальным ПАВ для улучшения прохождения питательных веществ. Мембранные наборы могут быть использованы при культивировании протопластов, при получении культур цветов и в других направлениях [38].

Применение метода КМР зачастую сопровождается оздоровлением видов растений. Выращенные таким образом клональные растения могут применяться для конструирования пищевых полифункциональных ингредиентов и дальнейшего использования для обогащения традиционных продуктов питания.

Сублимационное высушивание является эффективным способом продления срока годности продукта и увеличения содержания биологически активных веществ за счет концентрирования и уменьшения содержания влаги. Кроме того, удаление влаги при низкой температуре сублимации (минус 10 – минус 40 ºС) позволяет значительно снизить окисление витамина С, флавоноидов, каротиноидов, а также сохранить около 95 % биологически активных веществ. После сублимационной сушки продукт сохраняет естественный цвет, запах, первоначальную форму.

Согласно исследованиям В. Б. Спиричева, В. В. Трихина, В. М. Позняковского, усвоение обогащенных витаминами продуктов выше натуральных витаминов.

Биологическая усвояемость, например, витамина B_6 в продуктах питания растительного происхождения составляет (в зависимости от вида продукта) от 5 до 75 %. Эти факторы необходимо учитывать при обогащении продуктов функциональными ингредиентами [17].

ВЫВОДЫ

Таким образом, перспективы фитобиотехнологии заключаются в разработке методологии массового воспроизводства ягодных, овощных, редких дикорастущих растений, а также ценного лекарственного растительного сырья и конструирование на его основе функциональных продуктов питания. Анализ состава и свойств биологически активных веществ, флоры Западно-Сибирского региона позволил выбрать объект для получения полифункциональных ингредиентов, а в дальнейшем – функциональных пищевых продуктов. Особое внимание в настоящее время привлекает метод микроклонального размножения растений in vitro для получения биологически активных микронутриентов. Клеточные культуры по сравнению с традиционным растительным сырьем имеют преимущества: возможность круглогодичного культивирования независимо от погодных условий региона, стандартизации условий выращивания, перспективы полной автоматизации процессов выращивания. Одной из моделей микроклонального размножения является каллусная культура. Растительное сырье брусники обыкновенной, выращенное in vitro, сможет стать перспективным источником пищевых ингредиентов, не зависящим от природных условий и обладающим всеми заданными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ящузакова Ш., Катаргина Т.К. Фитобиотехнология как направление современной биотехнологии // Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования: сб. статей V Международной научно-практической конференции. Пенза. 2019. Ч. 2. С. 27–29.

2. Мосин О.В. Фитобиотехнология и ее прикладные аспекты. URL: http://read.newlibrary.ru/read. php/pdf=19936. (дата обращения: 19.05.2021).

3. Елинов Н.П. Основы биотехнологии. СПб. : Наука, 1995. 600 с.

4. Бабикова А.И., Горпенченко Т.Ю., Журавлев Ю.Н. Растение как объект биотехнологии // Комаровские чтения. Владивосток. 2007. № 55. С. 184–211.

5. Тимофеева С.Н. Изучение возможности размножения древесных растений методами клеточных культур // Бюллетень Ботанического сада Саратовского государственного университета. Саратов. 2007. № 6. С. 109–114.

6. Иванова Н.Н., Митрофанова И.В., Митрофанова О.В. Методические основы клонального микроразмножения некоторых декоративных культур // Никитский ботанический сад: сб. научных трудов ГИБС. 2014. Т. 13. С. 57–102.

7. Мурашкина И.А., Васильев И.Б., Гордеева В.В. Использование культуры клеток растений в биотехнологии лекарственных средств: учеб. пособие. Иркутск: ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России, Кафедра технологии лекарственных форм, 2015. 83 с.

8. Федорова А.М., Дмитриева А.И., Дышлюк Л.С. Культивирование дикорастущих лекарственных растений СФО in vitro в целях накопления потенциальных геропротекторов // Научные труды: сб. статей. Северо-Кавказский Федеральный научный центр садоводства, виноградства, виноделия. 2020. Т. 30. С. 134–138.

9. Серба Е.М., Волкова Г.С., Соколова Е.Н., Фурсова Н.А., Юраскина Т.В. Плоды брусники – перспективный источник биологически активных веществ // Теоретические аспекты хранения и переработки сельхозпродукции. 2018. № 4. С. 48–58.

10. Лютикова М.Н. Изучение состава биологически активных компонентов дикорастущих ягод Vaccinium vitisidaea и Oxycoccus palustris в зависимости от степени их зрелости и условий хранения: дисс. … канд. хим. наук. Сургут, 2013. 124 с.

11. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021–2030 гг.)»: утв. от 31 декабря 2020 г. № 3684-р. Москва, 2020. – 149 с.

12. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-р. АО «Кодекс», 2016. 18 с.

13. МР 2.3.1.2432-08. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: утв. главным государственным санитарным врачом РФ 18.12.2008. М.: Минздрав России, 2008. 50 с.

14. Каприянова Л.М. О новых местонахождениях малоизвестных и редких для Западной Сибири водных растений // Бюллетень МОИП. Отд. биол. Москва, 2018. Т. 123. Вып. 3. С. 84–85.

15. Капитонова О.А. Дополнения к флоре Тюменской области // Бюллетень Моск. общ-ва природы отд. биол. Москва, 2019. Т. 124. Вып. 3. С. 71–72.

16. Гаврилова Ю.А., Бессонова О.В., Смирнова Н.А. Развитие концепции здорового питания в России: проблемы и перспективы // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 2. Ч. 3. С. 405–406.

17. Спиричев В.Б., Трихина В.В., Позняковский В.М. Обогащение пищевых продуктов микронутриентами – надежный путь оптимизации их потребления // Ползуновский вестник. 2012. № 2/2. С. 9–13.

18. Храмова Е.Ю., Плисов В.А. Целебные свойства фруктов и овощей. Москва: ОЛМА медиа групп. 2012. 223 с.

19. Загоскина Н.В., Назаренко Л.В. Вторичные метаболиты растений: распространение, история изучения, практическое применение // Общая биология. Москва. 2019. С. 8–19.

20. Пасешниченко В.А. Растения – продуценты биологически активных веществ // Соровский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 8. С. 13–19.

21. Сурина Л.Н., Баранов А.А., Суринлевицкий С.В. Земли Тюменской травы целебные: изд. 2-е, перераб. Тюмень, 2002. 592 с.

22. Molan A.L., Lila M.A. Ravindran Bluebarries G. Genotypedependent variation in antioxidant, free-radical scavenging, and prebiotic activities. *Current Research, Technology and Educatuion Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnolog. Formatex*. 2010. № 7. С. 427–434.

23. Величко Н.А., Берикашвили З.Н. Исследование химического состава ягод голубики обыкновенной и разработка рецептур напитков на ее основе // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 7. С. 126–131.

24. Mane C., Loonis M., Juhel C., Dufour C., Malien-Aubert C. Food Grade Lingonberry Extract: Polyphenolic Composition and In Vivo Protective Effect against Oxidative Stress. *J. Agric. Food Chem*. 59 (7), 2011, P. 3330-3339.

25. Katarzyna Kowalska. Lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.) Fruit as a Source of Bioactive Compounds with Health-Promoting Effects-A Review. *Int J Mol Sci*. 22(10). 2021, P. 600-627.

26. Шутова А.Г. Оценка антиоксидантной активности экстрактов и эфирных масел пряно-ароматических и лекарственных растений // Растительные ресурсы. 2007. Т. 43. Вып. 1. С. 112–125.

27. Кулатаева А.К., Ермекбаева Б.А., Адекенов С.М., Пак Р.Н. Антимикробные и ранозаживляющие свойства комбинации этанольных экстрактов и эфирных масел лекарственных растений // Растительные ресурсы. 2006. Т. 41. Вып. 2. С. 102–109.

28. Hakkinen S. Flavonols and phenolic acids in berries and berry products. Kuopio University Publications D. Medical Sciences. 2020. № 221. P. 90.

29. Lyutikova M.N., Turov Y.P. The research of the component composition of the berries of local wild cowberry (Vaccinium vitis-idaea L.). *Eurasian Forests: Materials Of the All-Russian conference for young scientists with scientific education supplies, dedicated to the 90 th anniversary from the date of the Moscow State Forest University foundation and to the 170 th anniversary of Prof. M.K. Turskys birth*. M.: MSFU., 2010. P. 353-356.

30. Lee J. & Finn C.E. Lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.) grown in the Pacific Northwest of North America: Anthocyanin and free amino acid composition. *J. Funct. Foods*. (4), 2012, P. 213-218.

31. Вериейлен Нико. Полезные травы. Иллюстрированная энциклопедия. Москва: Лабиринт. 2002. 320 с.

32. Бурмистров А.Н., Никитина В.А. Медоносные растения и их пыльца. Москва: Росагропромиздат, 1990. 192 с.

33. Федосеева Г.М., Мирович В.М., Горячкина Е.Г., Переломова М.В. Фитохимический анализ растительного сырья, содержащего флавоноиды: метод. пособие по фармакогнозии. Химический анализ лекарственных растений. Иркутск, 2009. 67 с.

34. Chemat F., Crsvotto G. Microwave-assisted extraction of bioactive compounds. Theory and practice. USA: Springer, 2013, P. 240.

35. Замбулаева Н.Д., Жасмаранова С.Д. Исследование антиоксидантных и антимикробных свойств биопротекторов из отходов соковых производств как ингредиентов для обогащения продуктов питания // Исследование вузов. Прикладная химия и технология. Москва, 2018. Т. 8. № 1. С. 51–58.

36. Vinatoru, M. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. Ultrasonics Sonochemistry. (8), 2001, P. 303-313.

37. Григорьева Л.М. Ресурсы лекарственных растений юго-восточных районов Тюменской области и вопросы их рационального использования: автореф. дисс. ... канд. фарм. наук. Санкт-Петербург, 1996. 24 с.

38. Носов А.М. Использование клеточных технологий для промышленного получения биологически активных веществ растительного происхождения // Биотехнология. 2010. № 5. С. 8–28.

Информация об авторах

М. В. Николенко – д.б.н., профессор кафедры товароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет.

В. В. Тригуб – к.б.н., доцент кафедры т*овароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет.*

В. Г. Попов – д.т.н., профессор кафедры товароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет.

С. А. Белина – старший преподаватель кафедры товароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет.

REFERENCES

1. Yashuzakova, Sh. & Katargina, T.K. (2019). Phytobiotechnology as a direction of modern biotechnology. *Innovative development: potency of science and modern education: collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference.* Penza, part 2. 27-29. (In Russ.).

2. Mosin, O.V. Phytobiotechnology and its applied aspects. http://read.newlibrary.ru/read.php/pdf=19936. (date of the application: 19.02.2021).

3. Elinov, N.P. (1995).Fundamentals of biotechnology. SPb. :Science. P. 600.

4. Babikova, A.I., Gorpinchenko, T.Yu. & Zhuravlev, Yu.N. (2007). A plant as an object of biotechnology. Komarovsky readings. Vladivostok. (55), 184- 211. (In Russ.).

5. Timofeeva, S.N. (2007). Studying the possibility of reproduction of woody plants by cell culture methods. *Bulletin of the Botanical Garden of Saratov State University*. Saratov. (6), 109 -114. (In Russ.).

6. Ivanova, N.N., Mitrofanova, I.V. & Mitrofanova, O.V. (2014). Methodological foundations of clonal micro-reproduction of some ornamental crops. *Nikit-*

sky Botanical Garden: collection of scientific works of GIBS. (13), 57-102. (In Russ.).

7. Murashkina, I.A., Vasiliev, I.B. & Gordeeva, V.V. (2015). The use of plant cell culture in the biotechnology of medicines: a textbook. Irkutsk: GOU VPO IGMU of the Ministry of Health of Russia, Department of technology of dosage forms. P. 83. (In Russ.).

8. Fedorova, A.M., Dmitrieva, A.I. & Dyshlyuk, L.S. (2020). Cultivation of wild medicinal plants of the Siberian Federal District in vitro in order to accumulate potential geroprotectors geroprotectors. *North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Wine Gradstva, Winemaking Scientific Works: collection of articles. Articles.* Vol. 30. 134-138. (In Russ.).

9. Serba, E.M., Volkova, G.S., Sokolova, E.N., Fursova, N.A. & Yuraskina, T.V. (2018). Lingonberry fruits are a promising source of biologically active substances. *Theoretical aspects of storage and processing of agricultural products*. (4), 48-58. (In Russ.).

10. Lyutikova, M.N. (2013). Study of the composition of biologically active components of wild berries Vaccinium vitisidaea and Oxycoccus palustris depending on the degree of their maturity and storage conditions. diss. ... candidate of Chemical Sciences M.N. Lyutikova. Surgut, P. 124. (In Russ.).

11. MP 2.3.1.2432-08. Rational nutrition. Norms of physiological needs for energy and food substances for various population groups of the Russian Federation: approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 18.12.2008. M. Ministry of Health of Russia. 2008. P. 50. (In Russ.).

12. Decree of the Government of the Russian Federation. On approval of the Program of Fundamental Scientific Research in the Russian Federation for the Long-term Period (2021-2030): approved on December 31, 2020. No. 3684-R. Moscow, 2020, P. 149. (In Russ.).

13. Strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030: approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 1364-r dated June 29, 2016. JSC "Codex", 2016, P. 18. (In Russ.).

14. Kupriyanova, L.M. (2018). On new locations of little-known and rare aquatic plants in Western Siberia. *Bulletin of the Ministry of Agriculture. Department of Biol*, Moscow, Vol. 123. (3), 84-85. (In Russ.).

15. Kapitonova, O.A. (2019). Additions to the flora of the Tyumen region. *Bulletin of Moscow. o-va of nature otd. bio*l. Moscow. Vol.124. (3), 71-72. (In Russ.).

16. Gavrilova, Yu.A., Bessonova, O.V. & Smirnova, N.A. (2015). Development of the concept of healthy nutrition in Russia: problems and prospects. *International Journal of Experimental Education.* (2), part 3. 405-406. (In Russ.).

17. Spirichev, V.B., Trichina, V.V. & Poznyakovsky, V.M. (2012). Fortification of food products with micronutrients - a reliable way to optimize their consumption. *Polzunovsky Vestnik*. № 2/2, 9-13. (In Russ.).

18. Khramova, E.Yu. & Plisov, V.A. (2012). Healing properties of fruits and vegetables. Moscow: OLMA Media Group, P. 223.

19. Zagoskina, N.V. & Nazarenko, L.V. (2019). Secondary metabolites of plants: distribution, history of study, practical application. *General biology*, Moscow, 8-19. (In Russ.).

20. Paseshnichenko, V.A. (2001). Plants - producers of biologically active substances. *Soros Educational Journa*l. Vol. 7. (8), 13 -19. (In Russ.).

21. Surina, L.N., Baranov, A.A. & Surin-Levitsky, S.V. (2002). Lands of Tyumen medicinal herbs: 2nd edition, reprint. Tyumen, P. 592.

22. Molan, A.L., Lila, M.A. & Ravindran Bluebarries, G. (2010). Genotypedependent variation in antioxidant, free-radical scavenging, and prebiotic activities. *Current Research, Technology and Educatuion Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnolog. Formatex*. (7), 427-434.

23. Velichko, N.A. & Berikashvili, Z.N. (2016). Investigation of the chemical composition of blueberries and the development of formulations of beverages based on it. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. (7), 126-131. (In Russ.).

24. Mane, C., Loonis, M., Juhel, C., Dufour, C., Malien-Aubert, C. (2011). Food Grade Lingonberry Extract: Polyphenolic Composition and In Vivo Protective Effect against Oxidative Stress. *J. Agric. Food Chem*. 59 (7), 3330-3339.

25. Katarzyna, Kowalska. (2021). Lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.) Fruit as a Source of Bioactive Compounds with Health-Promoting Effects-A Review. Int J Mol Sci. 22(10), 600-627.

26. Shutova, A.G. (2007). Evaluation of antioxidant activity of extracts and essential oils of spicy-aromatic and medicinal plants. *Plant resources*. Vol.43. issue 1, 112-125. (In Russ.).

27. Kulataeva, A.K., Ermekbayeva, B.A., Adekenov, S.M. & Pak, R.N. (2006). Antimicrobial and wound-healing properties of combinations of ethanol extracts and essential oils of medicinal plants. *Plant resources*. Vol. 41. issue.2, 102-109. (In Russ.).

28. Hakkinen, S. (2020). Flavonols and phenolic acids in berries and berry products. *Kuopio University Publications D. Medical Sciences* 221, P 90.

29. Lyutikova, M.N. & Turov, Y.P. (2010). The research of the component composition of the berries of local wild cowberry (Vaccinium vitis-idaea L.). *Eurasian Forests: Materials Of the All-Russian conference for young scientists with scientific education supplies, dedicated to the 90 th anniversary from the date of the Moscow State Forest University foundation and to the 170 th anniversary of Prof. M.K. Turskys birth*. M.: MSFU, 353-356.

30. Lee, J. & Finn, C.E. (2012). Lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.) grown in the Pacific Northwest of North America: Anthocyanin and free amino acid composition. J. Funct. Foods. (4), 213-218.

31. Vermeulen, Niko. (2002). Useful herbs. Illustrated Encyclopedia. Moscow: Labyrinth, P. 320.

32. Burmistrov, A.N. & Nikitina, V.A. (1990). Honey plants and their pollen. Moscow: Rosagropromizdat, P.192.

33. Fedoseeva, G.M., Mirovich, V.M., Goryachkina, E.G. & Perelomova, M.V. (2009). Phytochemical analysis of plant raw materials containing flavonoids. Methodical manual on pharmacognosy. Chemical analysis of medicinal plants Irkutsk, P. 67 (In Russ.).

34. Chemat, F. & Crsvotto, G. (2013). Microwave-assisted extraction of bioactive compounds. Theory and practice. USA: Springer, P. 240.

35. Zambulaeva, N.D. & Zhasmaranova, S.D. (2018). Research of antioxidant and antimicrobial properties of bioprotectors from juice production waste as ingredients for enrichment of food. *Research development of universities. Applied chemistry and technology*. Moscow, Vol. 8. (1), 51-58. (In Russ.).

36. Vinatoru, M. (2001). An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics Sonochemistry*. (8), 303-313.

37. Grigorieva, L.M. (1996). Resources of medicinal plants of the south-eastern districts of the Tyumen region and issues of their rational use: avtoref. diss. ... candidate of pharmaceutical sciences. St. Petersburg, P. 24. (In Russ.).

38. Nosov, A.M. (2010). The use of cell technologies for industrial production of biologically active substances of plant origin. *Biotechnology*. (5), 8-28. (In Russ.).

Information about the authors

M. V. Nikolenko - Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Commodity Science and Food Technology, Tyumen Industrial University.

V. V. Trigub - Candidat of Biological Sciences, Associate of the Department of Commodity Science and Food Technology, Tyumen Industrial University.

V. G. Popov - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Commodity Science and Food Technology, Tyumen Industrial University.

S. A. Belina - Senior Lecturer at the Department of Commodity Science and Food Technology, Tyumen Industrial University.

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

Статья поступила в редакцию 01.11.2021; одобрена после рецензирования 29.11.2021; принята к публикации 30.11.2021.

The article was received by the editorial board on 1 Nov 21; approved after reviewing on 29 Nov 21; accepted for publication on 30 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 90–95.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 90–95.

Научная статья
05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
УДК: 167.1
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.012

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ С ВЫСОКОЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Лариса Александровна Маюрникова [1], Елена Сергеевна Бычкова [2], Игорь Олегович Ломовский [3], Даяна Александровна Белякова [4], Алексей Леонидович Бычков [5]

[1] Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
[2, 4, 5] Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
[3, 4, 5] Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
[1] nir30@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4592-8382
[2] bychkova.nstu@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-4830-6298
[3] lomovsky@solid.nsc.ru, https://orcid.org/0000-0001-8269-033X
[4] belyakovadayana@gmail.com
[5] bychkov.a.l@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8951-5005

Аннотация. *Регулярное воздействие на организм неблагоприятных факторов окружающей среды является основной причиной накопления свободных радикалов, повреждающих клетки и провоцирующих развитие неинфекционных заболеваний (онкологических, сердечно-сосудистых и других). Своевременными являются разработка и оценка качества пищевых продуктов высокой антиоксидантной активности (АОА). Для получения эффективного результата важен системный последовательный подход к конструированию нового продукта. На начальном этапе целесообразным является проработка методологии формирования качества функционального пищевого продукта с высокой АОА. В статье представлены основные принципы разработки пищевых продуктов в составе с антиоксидантами и предложен алгоритм их формирования. Существует многообразие способов извлечения антиоксидантов из растительного сырья. При выборе оптимальной технологии получения веществ-антиоксидантов следует руководствоваться наиболее эффективными научно обоснованными способами, раскрывающими весь потенциал исходных компонентов. Для производства биологически активной добавки (БАД) высокой АОА выбраны технологии микрокапсулирования и механохимической активации. В статье приведены алгоритмы разработки пищевой добавки высокой АОА по выбранным технологическим решениям. Для реализации способа получения пищевого продукта с высокой АОА также необходимо научное обоснование направления выбора пищевых продуктов и продукции общественного питания для обогащения. Минимальная тепловая обработка или ее отсутствие, наличие в составе горьких, вязких, терпких пищевых продуктов, непродолжительные сроки хранения и лояльные условия реализации обеспечивают более высокие показатели антиоксидантной активности и биодоступности фенольных компонентов в готовом пищевом продукте. Разработанные принципы, алгоритмы и механизмы разработки пищевого продукта с антиоксидантами обеспечивают комплексный подход к разработке, позволяют систематизировать знания и гарантируют высокий уровень продуктивности новой разработки.*

Ключевые слова: *методология формирования качества, антиоксидантная активность, механизмы и алгоритмы формирования растительное сырье, механохимическая активация, микрокапсулирование, функциональные продукты питания, биологически активная добавка.*

Для цитирования: *Методология разработки продуктов питания с высокой антиоксидантной активностью / Л. А. Маюрникова [и др.]* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 90–95. doi: 10.25712/ ASTU.2072-8921.2021.04.012.

© Маюрникова, Л. А., Бычкова, Е. С., Ломовский, И. О., Белякова, Д. А., Бычков, А. Л., 2021

Original article

METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF FOOD PRODUCTS WITH HIGH ANTHIOXIDANT ACTIVITY

Larisa A. Mayurnikova [1], Elena S. Bychkova [2], Igor O. Lomovsky [3], Dayna A. Belykova [4], Aleksey L. Bychkov [5]

[1] Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
[2, 4, 5] Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia
[3, 4, 5] Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
[1] nir30@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4592-8382
[2] bychkova.nstu@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-4830-6298
[3] lomovsky@solid.nsc.ru, https://orcid.org/ 0000-0001-8269-033X
[4] belyakovadayana@gmail.com
[5] bychkov.a.l@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8951-5005

Abstract. *Regular exposure to adverse environmental factors on the body is the main cause of the accumulation of free radicals that damage cells and provoke the development of non-infectious diseases (oncological, cardiovascular and others). The development and evaluation of the quality of food products with high antioxidant activity (AOA) is appropriate. In order to obtain an effective result, a systematic sequential approach to the design of a new product is important. At the initial stage, it is advisable to study the methodology for the formation of the quality of a functional food product with a high AOA. The article presents the basic principles of the development of food products in the composition with antioxidants and suggests an algorithm for their formation. There is a variety of ways to extract antioxidants from plant raw materials. When choosing the optimal technology for obtaining antioxidant substances, one should be guided by the most effective scientifically based methods that reveal the full potential of the initial components. Microencapsulation and mechanochemical activation technologies have been selected for the production of biologically active additives (dietary supplements) of high AOA. The article presents algorithms for the development of a high-quality food additive according to selected technological solutions. In order to implement a method for obtaining a food product with a high AOA, it is also necessary to provide a scientific justification for the direction of the choice of food products and public food products for enrichment. Minimal heat treatment or its absence, the presence of bitter, viscous, tart foods in the composition, short shelf life and favorable conditions of sale provide higher indicators of antioxidant activity and bioavailability of phenolic components in the finished food product. The developed principles, algorithms and mechanisms for the development of a food product with antioxidants provide an integrated approach to development, allow us to systematize knowledge and guarantee a high level of productivity of a new development.*

Keywords: *methodology of quality formation, antioxidant activity, mechanisms and algorithms for the formation of plant raw materials, mechanochemical activation, microencapsulation, functional food products, biologically active additive.*

For citation: Mayurnikova, L. A., Bychkova, E. S., Lomovsky, I. O., Belykova, D. A. & Bychkov, A. L. (2021). Methodology for the development of foods with high antioxidant activity. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 90-95. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.012.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия научно-технологического развития России определила спектр первоочередных проблем (именуемых «большими вызовами»), на решение которых направлены стратегические инициативы ведущих научных коллективов. В соответствии с Указом Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» и Национальным проектом «Демография» важной является проблема повышения качества и продолжительности жизни населения.

Рост антропогенных нагрузок на окружающую среду провоцирует накопление эндогенных кислородных радикалов в организме человека. Избыточное образование свободных форм азота и кислорода подавляет естественную клеточную антиоксидантную

защиту, способствуя функциональному нарушению систем организма. Каждая клетка способна уничтожать избыток свободных радикалов, для чего в организме функционируют специальные ферментные системы. Но в современных экологически сложных условиях ферменты не всегда могут справляться с избытком окислителей. Поэтому важно формировать внешнюю составляющую антиоксидантной системы – антиоксиданты, получаемые извне с пищей. Это делает актуальным расширение ассортимента пищевых продуктов, обогащенных антиоксидантами. Известен достаточно широкий спектр химических веществ с антиоксидантной активностью, в том числе полифенолы. Многообразие форм полифенольных компонентов растительного сырья, возможные комплексообразования с другими химическими веществами, нестабильность при технологической переработке, разный уровень биодоступности, диапазон вкусовых свойств, оказывающих влияние на органолептические свойства готового продукта, вызывают необходимость разработки методологии, направленной на обобщение и систематизацию имеющихся знаний, и разработки механизма создания продуктов питания с высокой антиоксидантной активностью (АОА).

В качестве методов исследования применяли анализ, синтез, обобщение и систематизацию.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Методология разработки пищевых продуктов с высокой антиоксидантной активностью включает в себя совокупность принципов, алгоритм и механизм реализации методологических подходов.

1. ***Принцип безопасности.*** Для соблюдения принципа безопасности при разработке пищевых продуктов с АОА путем добавления разработанных БАД необходимо руководствоваться рекомендуемыми уровнями содержания БАВ с АОА, в соответствии с нормативной документации (НД) [1].

Нормы внесения антиоксидантов в пищевой продукт должны иметь научное подтверждение с учетом потерь в ходе технологического процесса и конечного регламентируемого содержания. При применении технологии экстрагирования в ходе выделения антиоксидантов из растительного сырья рекомендуется применять безопасные методы и экстрагенты, разрешенные установленными нормативными документами для пищевых целей.

2. ***Принцип натуральности***. Антиоксиданты делят по происхождению на натуральные и полученные химическим путем [2]. В соответствии с НД для пищевых целей можно использовать и те, и другие. Синтетические антиокислители однотипны между собой по механизму ингибирования, неустойчивы к воздействию высоких температур и активных ингредиентов среды продукта, токсичны при невысокой эффективности действия [3]. Целесообразно отдавать предпочтение природным антиоксидантам.

3. ***Принцип совместимости.*** Заключается в способности сырья и разработанных БАД с высокой АОА к совместному применению без утраты биодоступности. Включение БАД в пищевой продукт не должны ухудшать его потребительские свойства.

4. ***Принцип доступности.*** Сущность принципа заключается в двуединстве: доступности продуктов питания, обогащенных БАД с ОАО для потребителя на рынке и биодоступность БАВ антиоксидантного ряда в организме человека. Доступность обогащенных пищевых продуктов для потребителя формируется на основе ценовой составляющей потребительских свойств продукта, обусловленной возможностью снижения себестоимости на этапах аппаратурного оформления технологии экстрагирования и сушки сырья. Биоактивность антиоксидантов для человека зависит от химической структуры веществ-антиоксидантов и их комбинации в продукте, методов технологической обработки, физиологического состояния организма (активности ферментов, времени прохождения через кишечник, микрофлоры толстой кишки, пола, генетического профиля).

5. ***Принцип эффективности.*** Заключается в подтверждении профилактической результативности включения в рацион продуктов питания, обогащенных БАД с АОА с установленным регламентируемым содержанием при проведении доклинических исследований.

6. ***Принцип научной обоснованности.*** Принцип базируется на известности механизма окислительного стресса организма человека, при воздействии на него негативных факторов внешней среды и научной обоснованности разработки системы создания пищевых продуктов с высокой АОА.

7. ***Принцип стабильности.*** Стабильность антиоксидантов предполагает выбор растительного сырья для производства БАД с высоким содержанием антиоксидантов и внесение компонентов, обладающих АОА и выполняющих функцию стабилизатора.

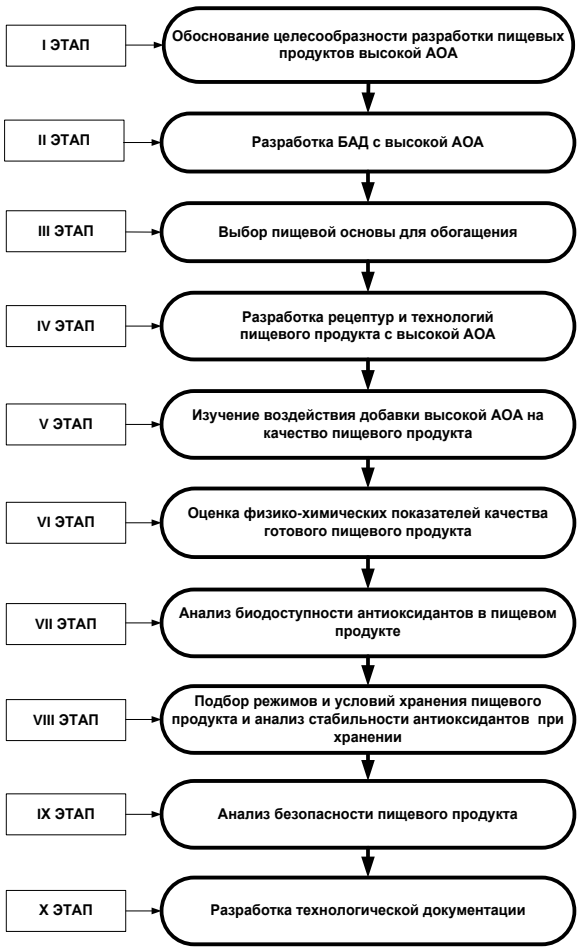


Рисунок 1 – Алгоритм разработки пищевых продуктов с высокой АОА

Figure 1 - Algorithm for the development of food products with high antioxidant activity

На рисунке 1 представлен алгоритм разработки пищевых продуктов с высокой антиоксидантной активностью, разработанный с учетом предлагаемых принципов. Алгоритм представляет собой описание этапов, из которых первые три являются общими подходами с исходным множеством выбора решений. Направления исследований на последующих этапах зависят от граничных условий, сформулированных на основе результатов выбора предыдущих.

Так как технология разработки пищевых продуктов с высокой антиоксидантной активностью включает разработку БАД с последующим ее применением для обогащения продуктов массового потребления, проводили исследования особенностей и потенциальных возможностей применения разных способов ее получения: микрокапсулирования и механохимической активации.

На этапе разработки БАД необходимо обосновать выбор основных сырьевых компонентов. Как правило, отдают предпочтение более доступному местному сырью. При этом необходимо учитывать физико-химический состав базовых пищевых компонентов, принимая во внимание их антиоксидантную активность и наличие веществ, способствующих стабилизации и усилению биодоступности антиоксидантов.

При выборе оптимальной технологии извлечения антиоксидантов следует руководствоваться наиболее эффективными научно обоснованными способами, раскрывающими потенциал растительного сырья. На основе анализа научно-технической литературы для производства добавки высокой АОА выбраны две технологии: микрокапсулирование и механохимическая активация. Технология микрокапсулирования способствует наиболее полной реализации защитного механизма антиоксидантов и сохранению их биологической активности [4]. На рисунке 2 представлен поэтапный алгоритм разработки и практической реализации рассматриваемой технологии.

Важным моментом при выборе технологических решений является выбор материала ядра и материала стенки [5]. Материалом ядра является экстракт, содержащий высокое количество АО. В качестве материала стенки выступают чаще всего гидроколлоиды, способные при взаимодействии с антиоксидантами образовать стабильный комплекс для защиты активного компонента от факторов окружающей среды, блокировки его вкуса и запаха и сохранению биодоступности.

Учитывая многообразие существующих методов микрокапсулирования, анализируя их достоинства и недостатки, экономическую целесообразность и доступность, необходимо подобрать оптимально подходящий метод технологического решения. По анализу изменения количества антиоксидантов и сохранности образовавшегося комплекса в зависимости от факторов окружающей среды проводится оценка эффективности технологии.

На рисунке 3 представлен алгоритм разработки БАД с высокой АОА по методу механохимической активации растительного сырья.

Механохимическая обработка приводит к более полному извлечению фенольных соединений. Это связано с тем, что в результате механической обработки растительного сырья происходит разрушение клеточных стенок, что значительно повышает доступность фенольных соединений, находящихся в клетке [6]. В результате того, что обработка производится в твёрдой фазе, концентрация антиоксидантов стабильна во времени.

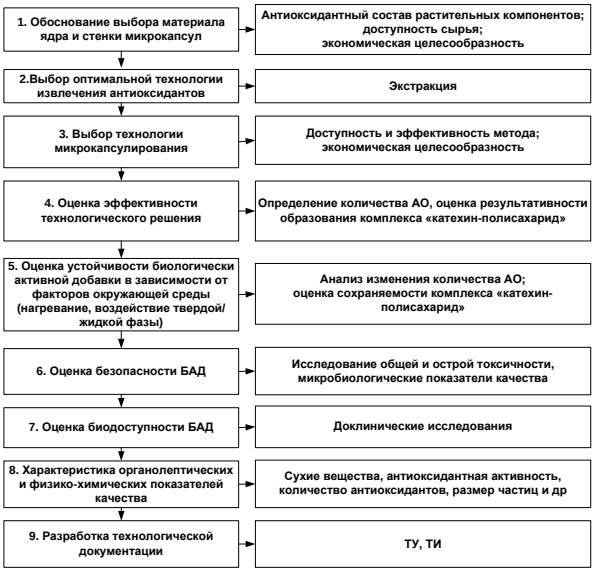


Рисунок 2 – Алгоритм разработки биологически активной добавки способом микрокапсулирования

Figure 2 - Algorithm for the development of a biologically active additive by microencapsulation

Рисунок 1 – Алгоритм разработки биологически активной добавки методом механохимической активации

Figure 3 - Algorithm for the development of biologically active additives by mechanochemical activation

При выборе пищевой основы для обогащения БАД рассматривались товароведные характеристики представителей однородных групп пищевых продуктов с учетом прогнозов положительного и отрицательного влияния совокупности БАД и нутриентного состава пищевого продукта на органолептические и другие свойства состава. Необходимо учитывать и контролировать следующие параметры:

1. Ассортимент используемого сырья.
2. Влияние добавки на потребительские показатели качества.
3. Технологические режимы приготовления (температура, давление и т.д.).
4. Технологичность внесения добавки.
5. Содержание антиоксидантов в готовом пищевом продукте и их биодоступность.
6. Сроки хранения пищевого продукта.
7. Условия реализации пищевого продукта.
8. Экономическую целесообразность.

Анализ ассортимента продовольственных товаров показал, что наиболее эффективной основой для обогащения БАД высокой АОА являются напитки. В перечне продукции общественного питания наиболее подходящей пищевой основой для внесения БАД высокой АОА являются салаты, холодные супы, холодные соусы, некоторые виды десертов, холодные напитки.

ВЫВОДЫ

Результативность научной идеи зависит от комплексного подхода к ее реализации. Организация научной составляющей разработки и производства нового пищевого продукта, основанная на методологическом подходе формирования качества, обеспечит высокую эффективность результата. Разработаны основополагающие принципы к созданию пищевых продуктов в составе с антиоксидантами, соблюдение которых создаст пищевой продукт с подтвержденной безопасностью, экономической доступностью и направленным действием на организм. Представленный алгоритм разработки пищевых продуктов с высокой АОА предлагает разработчику поэтапные шаги для осуществления поставленной цели. Важным этапом является выбор технологического решения для выделения антиоксидантов. Подобраны наиболее эффективные способы извлечения флавоноидов и их сохранения посредством технологии механохимической активации и микрокапсулирования. Представлены этапы реализации выбранных технологических решений. Известно, что антиоксиданты разрушаются под воздействием факторов окружающей среды, их количество зависит от технологии приготовления, способов хранения и реализации. Поэтому немаловажным является

научно обоснованный выбор пищевой основы. Подобраны группы пищевых продуктов, введение в которых антиоксидантов наиболее целесообразно. Такой системный подход, объединяющий принципы, алгоритмы и механизмы разработки пищевых продуктов с высокой антиоксидантной активностью, позволит создать конкурентоспособный и востребованный рынком пищевой продукт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».

2. Яшин Я.И., Яшин А.Я. Природные антиоксиданты – защита человека от опасных болезней : учебник. Москва : Трансли, 2020. 96 с.

3. Natural and synthetic antioxidants: An updated overview / A. Augustyniak, G. Bartosz, A. Gašparović, N. Žarković // Free Radical Research. – 2010. № 44 (10). С. 1216–1262. doi 10.3109/10715762.2010.508495.

4. An overview of encapsulation technologies for food applications / V. Nedovic, A. Kalusevic, V. Manojlovic, S. Levic, B. Bugarski // Procedia Food Science. 2011. № 1. С. 1806–1815. doi: https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.265.

5. Fang Z., Bhandari B. Encapsulation of polyphenols – a review // Trends in Food Science and technology. 2010. № 21(10). С. 510–523. doi: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003.

6. Ломовский О.И., Болдырев В.В. Механохимия в решении экологических задач. Новосибирск : Науч.-образ.центр «Молекулярный дизайн и экологически безопасные технологии», 2006. 221 с.

Информация об авторах

Л. А. Маюрникова – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии и организации общественного питания» Кемеровского государственного университета.

Е. С. Бычкова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и организация пищевых производств» Новосибирского государственного технического университета.

И. О. Ломовский – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Химии твердого тела» Института химии твердого тела СО РАН.

Д. А. Белякова – магистрант кафедры «Технологии и организации пищевых производств» Новосибирского государственного технического университета.

А. Л. Бычков – доктор химических наук, доцент кафедры «Технологии и организации пищевых производств» Института химии твердого тела СО РАН.

REFERENCES

1. Norms of physiological needs in energy and nutrients for different groups of the population of the Russian Federation (2021). Methodological recommendations of MP 2.3.1.0253-21 from 22 July 21. Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).

2. Yashin, Ya.I. & Yashin, A.Ya. (2020). Natural antioxidants - human protection from dangerous diseases : textbook.Moscow : Transli. (In Russ.).

3. Augustyniak, A., Bartosz, G., Gašparović, A. & Žarković, N. (2010). Natural and synthetic antioxidants: An updat-ed overview. *Free Radical Research*. 44 (10). 1216-1262. doi 10.3109/10715762. 2010.508495.

4. Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S. & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science.* (1). 1806-1815. doi: https://doi.org/ 10.1016/j.profoo.2011.09.265 .

5. Fang, Z. & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols – a review. *Trends in Food Science and technology*. 21(10). 510-523. doiI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003.

6. Lomovsky, O.I. & Boldyrev, V.V. (2006). Mechanics in solving environmental problems. Novosibirsk : Scientific-image.the center "Molecular design and environmentally friendly technologies". (In Russ.).

Information about the authors

L. A. Mayurnikova - doctor of technical Sciences, Professor of the Department "Technology and organization of public catering" Kemerovskogo state University.

E. S. Bychkova - candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology and organization of food production" Novosibirsk state technical University.

I. O. Lomovsky - candidate of chemical Sciences, senior researcher of the laboratory "Solid state Chemistry" of the Institute of solid state chemistry SB RAS.

D. A. Belyakova - Master's student of the Department of "Technologies and Organization of Food Production" of Novosibirsk State Technical University.

A. L. Bychkov - Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of "Technologies and Organization of Food Production".

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

Статья поступила в редакцию 01.11.2021; одобрена после рецензирования 12.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 1 Nov 21; approved after reviewing on 12 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 96–103.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 96–103.

Научная статья
05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)
УДК 639.111.4/637.046/637.5.07
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.013

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУБЛЕНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ОЛЕНИНЫ

Елена Валерьевна Петренко [1], Галина Александровна Губаненко [2], Елена Анатольевна Зайченко [3], Евгения Александровна Демакова [4]

[1, 2, 3, 4] Институт торговли и сферы услуг Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1] evp.2011@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2314-0578
[2] gubanenko@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-3049-0835
[3] zea1@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1173-6975
[4] evdemakova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7315-6215

Аннотация. *Замороженные мясные рубленые полуфабрикаты, в том числе из мяса северного оленя, пользуются устойчивым спросом у потребителей г. Красноярска. Пищевая ценность котлет из оленины обусловлена содержанием белка, аминокислот, жирных кислот, витаминов, минеральных веществ, оказывающих влияние на здоровье человека. Макро- и микроэлементы регулируют физиологические процессы организма и являются необходимыми для роста и нормального развития человека. В данной работе исследовано содержание минеральных веществ мясного полуфабриката из мяса северного оленя пяти производителей г. Красноярска. С помощью метода атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой было определено содержание 24 элементов. Установлено, что замороженные полуфабрикаты отличаются высоким содержанием железа от 1,7 до 3,5 мг/100г, фосфора от 110 до 130 мг/100 г, цинка от 1,4 до 3,1 мг/100 г, хрома от 0,004 до 0,011 мг/100 г, меди от 0,11 до 0,15 мг/100 г. В образцах полуфабрикатов торговых марок «Хозяин тайги», «МЕСАР», ИП Богомольная обнаружены ванадий и селен. Выявлено незначительное содержание калия, кальция, магния, марганца. При употреблении в рационе 100 г полуфабриката из оленины позволит удовлетворить суточную потребность в железе от 11 до 35 %, в фосфоре – от 13 до 16 %, в цинке – от 11 до 25 %, в хроме – от 14 до 22 %, меди – от 10 до 19 % в зависимости от вида котлет, изготовленных разными производителями. На основании полученных результатов можно рекомендовать производителям полуфабрикатов из оленины указывать в маркировке в разделе «Пищевая ценность» информацию об отличительном признаке «Источник минеральных веществ» изготовителям: ООО «Регион Сибирь» – железа, ИП Усольцев – железа, фосфора, цинка, ООО ТПК «Хозяин тайги» – фосфора, ИП Артеменко О.Ф. – железа, фосфора, селена ИП Богомольная И.В. – железа, цинка, селена.*

Ключевые слова: *северный олень, мясо, рубленые полуфабрикаты, минеральный состав, суточная потребность, маркировка.*

Для цитирования: *Минеральный состав рубленых полуфабрикатов из оленины / Е. В. Петренко [и др.]* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 96–103. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.013.

© Петренко, Е. В., Губаненко, Г. А., Зайченко, Е. А., Демакова, Е. А., 2021

Original article

MINERAL COMPOSITION OF CHOPPED SEMI-FINISHED VENISON

Elena V. Petrenko [1], Galina A. Gubanenko [2], Elena A. Zaychenko [3], Evgenia A. Demakova [4]

[1, 2, 3, 4] Institute of Trade and Services Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1] evp.2011@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2314-0578
[2] gubanenko@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-3049-0835
[3] zea1@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1173-6975
[4] evdemakova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7315-6215

Abstract. *Frozen minced meat semi-finished products, including reindeer meat, are in steady demand among consumers in Krasnoyarsk. The nutritional value of venison cutlets is determined by the content of protein, amino acids, fatty acids, vitamins, minerals that affect human health. Macro- and microelements regulate the physiological processes of the body and they are necessary for the growth and normal development of a person. In this work, the content of mineral substances of semi-finished meat products from reindeer meat from five producers in Krasnoyarsk has been investigated. Using the method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma, the content of 24 elements was determined. It was found that frozen cutlets have a high iron content from 1.7 to 3.5 mg/100 g, phosphorus from 110 to 130 mg / 100g, zinc from 1.4 to 3.1 mg / 100 g, chromium from 0.004 to 0.011 mg / 100 g, copper from 0.11 to 0.15 mg / 100 g. Vanadium and selenium were found in samples of cutlets of the brands "Taiga Owner", "MESAR", IP Bogomolnaya. It is revealed insignificant content of potassium, calcium, magnesium, manganese. The consumption of 100 g of semi-finished venison will satisfy the daily requirement for iron from 11 to 35%, in phosphorus from 13 to 16%, in zinc from 11 to 25%, in chromium from 14 to 22%, copper from 10 to 19% depending on the type of cutlets made by different manufacturers. Based on the results obtained, it is possible to recommend for producers of semi-finished products from venison to indicate in the labeling of cutlets in the section "nutritional value" information about the distinguishing feature "Source of mineral substances": manufacturers: Region Siberia LLC - iron, IP Usoltsev - iron, phosphorus, zinc, LLC TIC "Taiga Owner" - phosphorus, IP Artemenko OF - iron, phosphorus, selenium IP Bogomolnaya I.V. - iron, zinc, selenium.*

Keywords: *reindeer, meat, chopped semi-finished products, macro- and microelements, daily requirement, labeling.*

For citation: Petrenko, E. V., Gubanenko, G. A., Zaychenko, E. A. & Demakova, E. A. (2021). Mineral composition of chopped semi-finished venison. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 96-103. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.013.

ВВЕДЕНИЕ

Литературные данные свидетельствуют, что мясо оленя богато многими макро- и микроэлементами: натрием, калием, кальцием, магнием, а по содержанию фосфора и железа превосходит традиционные виды мяса (говядину и свинину) [1–6]. Микроэлементы являются обязательными в рационе человека, они участвуют в обмене веществ, в построении тканей организма, в том числе костей, обеспечивают нормальное функционирование мышечной, сердечно-сосудистой и пищеварительной систем. Дефицит микроэлементов приводит к развитию различных заболеваний.

Для жителей севера оленина является традиционным источником питания, употребляют оленину в виде натуральных крупнокусковых, порционных, мелкокусковых полуфабрикатов [4]. При этом изделия из рубленого мяса практически не используются. Проведенные нами исследования по выявлению предпочтений населения г. Красноярска в отношении различных видов полуфабрикатов из оленины позволили заключить о недоста-

точной информированности потребителей о высокой пищевой ценности данной группы продукции, что, в свою очередь, определяет пониженный спрос. В рационе жителей г. Красноярска мясо оленя практически отсутствует, потребитель не знаком с его полезными свойствами, особенностью приготовления. Следовательно, из всего многообразия натуральных и рубленых полуфабрикатов, представленных на потребительском рынке г. Красноярска, потребитель отдает большее предпочтение полуфабрикатам из котлетного мяса, натуральным и из котлетной массы (котлеты, бифштексы, зразы, шницели и др.).

Целью исследования является изучение макро- и микроэлементного состава мясного рубленого полуфабриката, изготовленного из мяса северного оленя. В соответствии с поставленной целью определены задачи исследования:

- изучить количественный состав минеральных веществ в замороженном мясном рубленом полуфабрикате из мяса северного оленя;
- провести сравнительный анализ содержания макро- и микроэлементов в мясных полуфабрикатах, изготовленных разными производителями г. Красноярска;
- выявить отличительные признаки полуфабрикатов, которые можно использовать в маркировке пищевой продукции в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования использован замороженный мясной рубленый полуфабрикат – котлеты из мяса северного оленя. Контрольная закупка была произведена в ноябре 2021 г. в торговых сетях г. Красноярска. Было приобретено пять образцов котлет разных производителей:

- котлеты из оленины «Таежный вкус» ООО «Регион-Сибирь», ТМ «Северный дар»;
- котлеты из оленины «Аппетитные» ООО ТПК «Хозяин тайги», ТМ «Хозяин Тайги»;
- котлеты из оленины «Домашние» ИП Усольцев М.Д., ТМ «Тунгус»;
- котлеты из оленины «Охотничьи» ИП Богомольная И.В.;
- котлеты из оленины премиум ИП Артеменко О.Ф., ТМ «МЕСАР».

Определение минерального состава рубленых полуфабрикатов (котлет) проведено в аналитической лаборатории института биофизики СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск). Пробы анализировали в трех повторностях. Влажность мясных полуфабрикатов оценивали высушиванием при 105 ºС до постоянного веса. Для элементного анализа методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) пробы массой 0,2 г гомогенизировали и озоляли в смеси концентрированных кислот особой чистоты HNO_3:$HClO_4$ (1:1) нагреванием на лабораторной плите. Полученный осадок солей переносили в полипропиленовые пробирки и разбавляли деионизированной водой (18 МОм) до 14 мл, затем дополнительно разводили в 10 раз. Калибровка ИСП-спектрометра была выполнена с использованием многоэлементных стандартов (ICP multi-element standard solution IV and IX (Merck), Multielement standard solution 6 for ICP, Sigma-Aldrich), одноэлементных стандартов (Mg, P, Inorganic Ventures) и химически чистых соединений (KCl, Na_2SO_4, CaO). В качестве внутреннего стандарта использовали Sc (5 мг/л, Scandium Snandard for ICP 92504, Sigma-Aldrich). Детекцию элементов проводили на следующих длинах волн (λ, нм): Al 396.1, Ba 455.4, Bi 223.0, Ca 317.9, Co 228.6, Cr 267.7, Cu 324.7, Fe 259.9, Ga 417.2, K 769.8, Li 670.7, Mg 279.0, Mn 257.6, Mo 202.0, Na 589.5, Ni 231.6, P 213.6, S 182.0, Sb 206.8, Se 196.0, Sr 421.5, Ti 337.2, V 268.7, Zn 213.8. Предел обнаружения элементов составлял для Al – 0,002, Ba – 0,000007, Bi – 0,001, Ca – 0,003, Co – 0,0002, Cr – 0,0002, Cu – 0,0001, Fe – 0,0001, Ga – 0,0004, K – 0,03, Li – 0,000005, Mg – 0,03, Mn – 0,00003, Mo – 0,0003, Na – 0,004, Ni – 0,0005, P – 0,03, S – 0,38, Sb – 0,0008, Se – 0,001, Sr – 0,000005, Ti – 0,00007, V – 0,0002, Zn – 0,0001 мг/л. Условия измерений и характеристика прибора подробно описаны в работе [7].

Для расчета степени удовлетворения суточной потребности в минеральных веществах при использовании в рационе 100 г рубленого полуфабриката из оленины использованы [8].

Для установления отличительных признаков маркировки замороженных мясных полуфабрикатов применяли [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты определения содержания минеральных элементов в рубленом полуфабрикате, изготовленного из мяса северного оленя, представлены в таблице 1.

Сравнительный анализ содержания макро- и микроэлементов в мясных полуфабри-

катах, изготовленных разными производителями г. Красноярска, позволил установить, что замороженные мясные полуфабрикаты из оленины отличаются высоким содержанием железа, фосфора, цинка, хрома, меди. В двух образцах обнаружен селен, в трех образцах – ванадий. Отмечается незначительное содержание калия, кальция, магния, марганца.

Среднее значение фосфора в образцах составляет 118 мг/100г. Наибольшее количество данного макроэлемента содержится в котлетах торговой марки «Хозяин тайги» (130 мг/100 г). Данный микроэлемент принимает участие в физиологических процессах, включая энергетический обмен, также он необходим для минерализации костей и зубов [10].

Таблица 1 – Содержание минеральных элементов в мясном рубленом полуфабрикате, изготовленном из мяса северного оленя

Table 1 - Content of mineral elements in minced meat semi-finished product made from reindeer meat

Минеральный элемент	Результаты исследования мг/ 100 г продукта				
	котлеты из оленины «Таежный вкус» ООО «Регион-Сибирь», ТМ «Северный дар»	котлеты из оленины «Домашние» ИП Усольцев М.Д., ТМ «Тунгус»	котлеты из оленины «Аппетитные» ООО ТПК «Хозяин тайги», ТМ «Хозяин Тайги»	котлеты из оленины премиум ИП Артеменко О.Ф., ТМ «МЕСАР»	котлеты из оленины «Охотничьи» ИП Богомольная И.В.
Al	0,237±0,091	0,175±0,097	0,225±0,034	0,252±0,074	0,382±0,060
Ba	0,012±0,007	0,009±0,007	0,011±0,005	0,014±0,009	0,019±0,008
Bi	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Ca	8,969±0,961	15,915±1,600	14,076±1,419	11,889±1,784	9,961±1,704
Co	н.о	0,003±0,001	н.о	н.о	н.о
Cr	0,007±0,004	0,011±0,008	0,004±0,001	0,011±0,007	0,011±0,008
Cu	0,146±	0,151±	0,108±	0,147±	0,190±
Fe	2,343±0,035	2,400±0,041	1,692±0,032	2,631±0,021	3,547±0,037
Ga	н.о	н.о	н.о	0,012±0,003	0,128±0,008
K	170,00±5,87	160,00±5,02	220,00±6,31	170,00±5,19	200,00±6,01
Li	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Mg	12,72±0,12	12,50±0,14	14,55±1,02	13,37±0,95	16,30±1,11
Mn	0,066±0,021	0,049±0,029	0,114±0,087	0,043±0,011	0,093±0,020
Mo	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Na	420,00±8,71	520,00±9,20	650,00±9,81	460,00±7,96	380,00±6,88
Ni	0,005±0,001	0,007±0,001	0,005±0,001	н.о	н.о
P	110,00±4,55	120,00±4,89	120,00±4,75	130,00±,21	110,00±4,39
S	100,00±4,25	200,00±6,89	200,00±7,05	100,00±3,89	100,00±4,69
Sb	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Se	н.о	н.о	н.о	0,020±	0,014±
Sr	0,099±0,003	0,090±0,002	0,099±0,003	0,084±0,012	0,071±0,013
Ti	н.о.	н.о	н.о	0,013±0,008	0,019±0,007
V	н.о	н.о	0,004±0,001	0,009±0,002	0,005±0,001
Zn	2,067±0,003	2,275±0,007	1,345±0,011	2,028±0,005	3,047±0,010

Содержание железа находится в диапазоне от 1,7 до 3,5 мг/100г, наибольшее значение данного микроэлемента у мясных полуфабрикатов производителя ИП Богомольная. У трех образцов содержание железа составляет около 2,5 мг. Железо входит в состав цитохромов, участвующих в процессах тканевого дыхания, является незаменимой частью гемоглобина. Недостаток данного микроэлемента в организме человека приводит к гипохромной анемии, миокардиопатии, атрофическому гастриту, а также к повышенной утомляемости [10].

Наиболее богаты цинком котлеты производителя ИП Богомольная И.В. – 3,05 мг/100г. У образцов торговых марок «Северный дар», «Тунгус» и «МЕСАР» содержание цинка составило 2,07, 2,28 и 2,03 мг соответственно. Цинк играет важную роль в биохимических процессах, участвует в синтезе и распаде углеводов, белков, жиров, нуклеиновых кислот. Оказывает влияние на активность гормонов и витаминов. Нехватка цинка в организме приводит к циррозу печени, анемии, иммунодефициту, у беременных могут быть выявлены нарушения в развития плода [10].

Больше всего меди обнаружено в рубленых полуфабрикатах производителя ИП Богомольная И.В. 0,19 мг/100 г. Медь принимает участие в метаболизме железа, стимулирует усвоение белков и углеводов. Участвует в процессах обеспечения тканей организма человека кислородом. Нехватка меди проявляется в нарушении формирования сердечно-сосудистой системы и скелета, развитии дисплазии соединительной ткани [10].

У трех образцов торговых марок «МЕСАР», «Тунгус» и ИП Богомольная И.В. содержание хрома составило 0,011 мг/100 г., у других – 0,007 мг («Северный дар») и 0,004 мг («Хозяин тайги»). Хром увеличивает чувствительность рецепторов тканей к инсулину и нормализует проницаемость клеточных мембран для глюкозы. Дефицит приводит к повышению триглицеридов, холестерина и к снижению толерантности к глюкозе, а также [10].

В трех образцах полуфабрикатах обнаружен ванадий (ТМ «Хозяин тайги», ТМ «МЕСАР», ИП Богомольная И.В.), содержание которого находится в диапазоне 0,004–0,009 мг/100 г. Ванадий препятствует накоплению холестерина, развитию атеросклероза, участвует в регуляции уровня сахара в крови, обмене кальция. Дефицит приводит к нарушению функции печени и почек [10].

В полуфабрикатах торговых марок «МЕСАР» и ИП Богомольная И.В. был обнаружен селен – 0,020 и 0,014 г соответственно. Можно предположить, что он попадает в организм дикого животного при употреблении лишайников и других видов растительного сырья арктических территорий Красноярского края. Селен принимает участие в обмене белков, жиров и углеводов, а также в окислительно-восстановительных процессах, обладает иммуномодулирующим действием [10].

В составе рубленых полуфабрикатах производителя ИП Богомольная И.В. содержится наибольшее количество железа, цинка и меди. Мясные полуфабрикаты торговой марки «МЕСАР» богаты фосфором, селеном и ванадием. Наименьшее количество микроэлементов содержится в котлетах торговой марки «Тунгус».

Таким образом, сравнительный анализ содержания макро- и микроэлементов в рубленых полуфабрикатах из мяса северного оленя выявил, что замороженные котлеты отличаются высоким содержанием железа от 1,7 до 3,5 мг/100г, фосфора – от 110 до 130 мг/100 г, цинка – от 1,4 до 3,1 мг/100 г, хрома – от 0,004 до 0,011 мг/100 г, меди – от 0,11 до 0,15 мг/100 г. В образцах котлет торговых марок «Хозяин Тайги», «МЕСАР», ИП Богомольная обнаружены ванадий и селен.

ОБСУЖДЕНИЕ

Представляется целесообразным сравнить фактическое содержание макро- и микроэлементов в мясном рубленом полуфабрикате из мяса северного оленя с установленными нормами суточного потребления минеральных веществ (адекватный уровень потребления) в соответствии с МР 2.3.1.1915-04 [8].

В таблице 2 приведен расчет степени удовлетворенности суточной потребности в минеральных веществах.

Данные таблицы свидетельствуют, что употребление в ежедневном рационе 100 г полуфабриката из оленины позволит удовлетворить суточную потребность в железе для женщин от 11 до 23 % и для мужчин от 16 до 35 %, в фосфоре – от 13 до 16 %, в цинке – от 11 до 25 %, в хроме – от 14 до 22 %, меди – от 10 до 19 % в зависимости от вида котлет, изготовленных разными производителями.

Важным способом продвижения пищевой продукции считается маркировка, нанесенная на упаковку. Изготовитель продукции наносит на упаковку обязательные элементы маркировки, а также может приводить отличительные признаки продукции в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011 (таблица 3). Необходимо выполнить условие, соблюдение которого является обязательным при использовании в маркировке пищевой продукции информации об отличительных признаках «Источник минеральных веществ» пищевой продукции. Таким условием является содержание минерального элемента, которого должно составлять не менее 15 процентов средней суточной потребности взрослого человека в минеральных веществах на 100 г твердой пищевой продукции в соответствии с приложением 5 ТР ТС 022/2011.

Таблица 2 – Степень удовлетворения суточной потребности в минеральных веществах при использовании в рационе 100 г рубленого полуфабриката из оленины

Table 2 - The degree of satisfaction of the daily requirement for minerals using in the diet 100 g of chopped semi-finished venison

Суточная потребность в основных пищевых веществах		ТМ «Северный дар»		ТМ «Тунгус»		ТМ «Хозяин Тайги»		ТМ «МЕСАР»		ИП Богомольная И.В.	
Макроэлементы											
элемент	мг	мг	%	мг	%	мг	%	мг	%	мг	%
Ca	1250	8,969	0,71	15,915	1,27	14,076	1,13	11,889	0,95	9,961	0,79
P	800	110	13,75	120	15,00	120	15,00	130	16,25	110	13,75
Mg	400	12,72	3,18	12,50	3,13	14,55	3,64	13,37	3,34	16,30	4,07
K	2500	170,0	6,80	160,0	6,40	220,0	8,80	170,0	6,80	200,0	8,00
Микроэлементы											
Fe	15[1] 10[2]	2,343	15,62 23,43	2,400	16,0 24,0	1,692	11,28 16,92	2,632	17,54 26,32	3,547	23,61 35,42
Zn	12	2,067	17,22	2,275	18,95	1,346	11,22	2,027	16,89	3,047	25,39
Se	0,07	н.о	–	н.о	–	н.о	–	0,020	28,57	0,014	20
Cu	1,0	0,146	14,6	0,151	15,1	0,108	10,8	0,147	14,7	0,190	19,0
Cr	0,05	0,007	14,0	0,011	22,0	0,004	8,00	0,011	22,0	0,011	22,0
Mn	2,0	0,066	3,3	0,049	2,45	0,114	5,70	0,043	21,5	0,093	4,65
V	0,04	н.о	–	н.о	–	0,004	10,00	0,009	22,5	0,005	12,5

[1] – для женщин
[2] – для мужчин

Таблица 3 – Степень удовлетворения средней суточной потребности в макро- и микроэлементах в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011

Table 3 - The degree of satisfaction of the average daily requirement for macro- and microelements in accordance with the requirements of TR CU 022/2011

Средняя суточная потребность в основных пищевых веществах		ООО «Регион-Сибирь», ТМ «Северный дар»		ИП Усольцев М.Д., ТМ «Тунгус»		ООО ТПК «Хозяин тайги», ТМ «Хозяин Тайги»		ИП Артеменко О.Ф., ТМ «МЕСАР»		ИП Богомольная И.В.	
элемент	мг	мг	%	мг	%	мг	%	мг	%	мг	%
Ca	1000	8,969	0,89	15,915	1,59	14,076	1,41	11,889	1,19	9,961	0,99
Fe	14	2,343	16,73	2,400	17,14	1,692	12,08	2,632	18,79	3,547	25,34
K	3500	170,0	4,85	160,0	4,57	220,0	6,28	170,0	4,58	200,0	5,71
Mg	400	12,72	3,18	12,50	3,125	14,55	3,64	13,37	3,34	16,30	4,07
P	800	110,0	13,75	120,0	15,0	120,0	15,0	130,0	16,25	110,0	13,75
Se	0,07	н.о	–	н.о	–	н.о	–	0,020	28,57	0,014	20,0
Zn	15	2,067	13,78	2,275	15,16	1,346	8,97	2,028	13,52	3,047	20,3

Результаты таблицы 3 свидетельствуют, что производители мясного полуфабриката котлет из мяса северного оленя могут использовать для потребителей в маркировке информацию об отличительном признаке «Источник минеральных веществ»:

- изготовитель ООО «Регион Сибирь» может указать количество соответствующего минерального вещества, например, содержа-

ние железа 2,34 мг/100 г, что составляет 16 % от суточной потребности (без учета потерь при тепловой обработке);

- изготовитель ИП Усольцев может указать содержание железа 2,40 мг/100 г, что составляет 17 % от суточной потребности, содержание фосфора 120 мг/100 г, что составляет 15 % от суточной потребности, содержание цинка 2,27 мг/100 г, что составляет 15 % от суточной потребности (без учета потерь при тепловой обработке);

- изготовитель ООО ТПК «Хозяин тайги» может указать содержание фосфора 120 мг/100 г, что составляет 15 % от суточной потребности (без учета потерь при тепловой обработке);

- изготовитель ИП Артеменко О.Ф. может указать содержание железа 2,63 мг/100 г, что составляет 18 % от суточной потребности, содержание фосфора 130 мг/100 г, что составляет 16 % от суточной потребности, содержание селена 0,02 мг/100 г, что составляет 28 % от суточной потребности (без учета потерь при тепловой обработке);

- изготовитель ИП Богомольная И.В. может указать содержание железа 3,54 мг/100 г, что составляет 25 % от суточной потребности, содержание цинка 3,04 мг/100 г, что составляет 20 % от суточной потребности, содержание селена 0,014 мг/100 г, что составляет 20 % от суточной потребности (без учета потерь при тепловой обработке).

Исследуемые образцы рубленых полуфабрикатов содержат регламентируемое количество макро- и микроэлементов, которое позволяет наносить на потребительскую упаковку информацию об отличительных признаках котлет для информирования потребителей о полезности данной продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание минеральных веществ в исследуемых мясных полуфабрикатах из оленины, изготовленных пятью производителями г. Красноярска, варьирует. Каждый исследуемый образец характеризуется своим индивидуальным элементным составом. Эта вариация в содержании элементов может быть объяснена рецептурным составом ингредиентов котлет, а также индивидуальным элементным составом мяса оленя, которое формируется путем избирательного поглощения химических элементов из растительного сырья, выращиваемого на арктической территории и используемого в качестве основного корма. Сравнительный анализ рубленых полуфабрикатов показал, что в зависимости от различного элементного состава каждый полуфабрикат может быть источником различных необходимых для человеческого организма макро- и микроэлементов. Выявлено, что полуфабрикаты из мяса оленя отличаются повышенным содержанием макроэлементов (фосфора) и микроэлементов (железа, цинка, меди, хрома).

На основании полученных результатов можно рекомендовать производителям продукции из оленины указывать в маркировке в разделе «Пищевая ценность» информацию об отличительном признаке «Источник минеральных веществ»: изготовителю ООО «Регион Сибирь» – железа 2,34 мг/100 г; изготовителю ИП Усольцев – железа 2,40 мг/100 г, фосфора 120 мг/100 г, цинка 2,27 мг/100 г; изготовителю ООО ТПК «Хозяин тайги» – фосфора 120 мг/100 г; изготовителю ИП Артеменко О.Ф. – железа 2,63 мг/100 г, фосфора 130 мг/100 г, селена 0,02 мг/100 г; изготовителю ИП Богомольная И.В. – железа 3,54 мг/100 г, цинка 3,04 мг/100 г, селена 0,014 мг/100 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Характерные особенности нутриентного состава воркутинской оленины, обусловленные условиями региона происхождения / А.А. Семенова [и др.] // Вопр. питания. 2019. Т. 88. № 5. С. 72–79. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10056.

2. Богдан Е.Г. Разработка технологии и товароведная оценка мясных кулинарных изделий из мяса одомашненного северного оленя : автореф. дисс … канд. тех. наук. Мурманск, 2019. 23 с.

3. Роббек Н.С., Алексеев Е.Д., Румянцева Т.Д. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в мясе оленей чукотской породы (харгин) // Главный. – 2019. № 7. С. 60–65. doi: 10.13140/RG.2.2.29686.75841.

4. Зачесова И.А., Колобов С.В. Ресурсы мяса северного оленя и состояние производства продуктов из него в Российской Федерации // Товаровед продовольственных товаров. 2017. № 12. С. 27–31.

5. Зачесова И.А., Колобов С.В. Сравнительная оценка потребительских свойств оленины и традиционного мясного сырья // Международная. Москва : ФНУ ПС им. В.М. Горбатова. 2018. № 1. С. 82–85.

6. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания : Справочник. Москва : ДеЛипринт, 2002. 236 с.

7. Anishchenko O.V., Sushchik N.N., Makhutova O.N., Kalachova G.S., Gribovskaya I.V., Morgun V.N., Gladyshev M.I. Benefit-risk ratio of canned pacific saury (*Cololabis saira*) intake: Essential fatty acids vs. heavy metals // Food and Chemical Toxicology. 2017. V. 101. P. 8–14.

8. Методические рекомендации 2.3.1.1915-04. Рекомендуемые нормы потребления пищевых и биологически активных веществ : утв. главным санитарным врачом РФ от 2 июля 2004 года. Москва : Минздрав Росси, 2004. 34 с.

9. ТР ТС 022/2011. Технический регламент таможенного союза «Пищевая продукция в части ее

маркировки»: принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880. Москва : Изд-во стандартов, 2011. 242 с.

10. Нормы физиологических потребностей в витаминах, минеральных веществах в соответствии с МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»: утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, утв. главным государственным санитарным врачом РФ от 22 июля 2021 года. Москва : Минздрав Росси, 2021. 72 с.

Информация об авторах

Е. В. Петренко – старший преподаватель кафедры «Товароведения и экспертизы товаров» института торговли и сферы услуг Федерального Сибирского университета.

Г. А. Губаненко – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии и организации общественного питания» института торговли и сферы услуг Федерального Сибирского университета.

Е. А. Зайченко – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Товароведения и экспертизы товаров» института торговли и сферы услуг Федерального Сибирского университета.

Е. А. Демакова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Товароведения и экспертизы товаров» института торговли и сферы услуг Федерального Сибирского университета.

REFERENCES

1. Semenova, A.A., Derevitskaya, O.K., Dydykin, A.S., Aslanova, M.A., Vostrikova, N.L. & Ivankin, A.N. (2019). Characteristic features of the nutritional composition of the Vorkuta venison, conditioned by the conditions of the region of origin. *Nutrition issues*. (5), 72-79. (In Russ.). doi: 10.24411 / 0042-8833-2019-100561.

2. Bogdan, E.G. (2019). Technology development and commodity evaluation of meat culinary products from the meat of domesticated reindeer. Extended abstract of candidate's thesis. Murmansk. (In Russ.).

3. Robbek, N.S., Alekseev, E.D. & Rumyantseva, T.D. (2019). The content of trace elements and heavy metals in the meat of deer of the Chukchi breed (Khargin). *Chief zootechnik*. (7). 60-65. (In Russ.). doi: 10.13140/ RG.2.2.29686.75841.

4. Zachesova, I.A. & Kolobov, S.V. (2017). Resources of reindeer meat and the state of production of products from it in the Russian Federation. *Commodity specialist of food products* (12). 27-31. (In Russ.).

5. Zachesova, I.A. & Kolobov, S.V. (2018). Comparative assessment of consumer properties of venison and traditional meat raw materials. *International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveevich Gorbatov.* Moscow: V.M. Gorbatov FSUE PS. (In Russ.).

6. Skurihin, I.M. & Tutel'yan, V.A. (2002). *Chemical composition of Russian food products: Handbook.* Moscow: DeLiprint. (In Russ.). doi: 10.258.1232.

7. Anishchenko, O.V., Sushchik, N.N., Makhutova, O.N., Kalachova, G.S., Gribovskaya, I.V., Morgun, V.N., Gladyshev, M.I. Benefit-risk ratio of canned pacific saury (*Cololabis saira*) intake: Essential fatty acids vs. heavy metals // Food and Chemical Toxicology. 2017. V.101. P. 8-14.

8. Recommended norms for the consumption of food and biologically active substances. (2004). *Methodological recommendations 2.3.1.1915-04 from* 02.07.2004. Moscow: Ministry of Health of Russia. (In Russ.).

9. Food products and parts of their labeling. (2011). *TR CU 022/2011 from 09.12.2011*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

10. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation (2021). *Methodological recommendations 2.3.1.0253-21.* Moscow: Ministry of Health of Russia. (In Russ.).

Information about the authors

E. V. Petrenko - senior lecturer Department of «Commodity Science and Examination of Goods» Institute of Trade and Services Siberian Federal University.

G. A. Gubanenko - Doctor of Technical Sciences, Professor professor of the Department of «Technology and Organization of Public Catering» Institute of Trade and Services Siberian Federal University.

E. A. Zaychenko - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor associate professor of the Department of «Commodity Science and Examination of Goods» Institute of Trade and Services Siberian Federal University.

E. A. Demakova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Commodity Science and Examination of Goods» Institute of Trade and Services Siberian Federal University.

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

Статья поступила в редакцию 29.10.2021; одобрена после рецензирования 12.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 29 Oct 21; approved after reviewing on 12 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 104–109.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 104–109.

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Научная статья
05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.014

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ КППН

Михаил Михайлович Копырин [1], Айтал Еремеевич Марков [2], Афанасий Нюргунович Иванов [3]

[1] Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия
mkopyrin91@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-6018-6391

[2, 3] Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Россия
[2] aital.markov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6853-6758
[3] differeo@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9009-3778

Аннотация. *В настоящее время наблюдается кризис в сфере тепло- и водоснабжения ЖКХ, вызванный «старением» металлических труб. Данные трубы подвержены коррозии, обладают низкой устойчивостью к истиранию и имеют низкий срок эксплуатации: приблизительно 12–15 лет. Для замены металла в системах тепло- и водоснабжения особый интерес вызывает применение труб на основе полимерных композиционных материалов, обладающих устойчивостью к истиранию, коррозионной стойкостью и имеющих высокие упруго-прочностные характеристики. В работе были исследованы прочностные характеристики базальто- и стеклотекстолитовых листов толщиной 5 мм. Было установлено, что прочностные характеристики на растяжение и трехточечный изгиб у стеклотекстолита и базальтотекстолита находятся на одном уровне. Исследование упруго-прочностных характеристик полученных базальтопластиковых труб разной толщины (6 и 12 мм) показало, что они обладают высоким пределом прочности на трехточечный изгиб (514 и 446 МПа соответственно) и обладают высокой герметичностью и прочностью на гидростатическое нагружение в диапазоне давления от 9 до 12 МПа.*

Ключевые слова: *базальтопластик, стеклопластик, базальтовые трубы, изгиб, гидростатическое нагружение, упруго-прочностные свойства.*

Для цитирования: Копырин, М. М., Марков, А. Е., Иванов, А. Н. Исследование упруго-прочностных характеристик базальтопластиковых труб, полученных методом КППН // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 104–109. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.014.

© Копырин, М. М., Марков, А. Е., Иванов, А. Н., 2021

Original article

INVESTIGATION OF THE ELASTIC-STRENGTH CHARACTERISTICS OF BASALT-PLASTIC PIPES, OBTAINED BY THE OLTW METHOD

Mikhail M. Kopyrin [1], Aital E. Markov [2], Afanasii N. Ivanov [3]

[1] Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS”, Yakutsk, Russia
mkopyrin91@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-6018-6391

[2, 3] V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia
[2] aital.markov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6853-6758
[3] differeo@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9009-3778

Annotation. *In this work, the strength characteristics of basalt and glass fiber sheets with a thickness of 5 mm were investigated. It was found that the tensile strength characteristics and three-point bending of fiberglass and basalt textolite are at the same level. The study of the elastic-strength characteristics of basalt-plastic pipes of different thicknesses (6 and 12 mm) showed that they have a high tensile strength in three-point bending (514 and 446 MPa, respectively) and have high tightness and strength to hydrostatic loading in the pressure range from 9 to 12 MPa.*

Keywords: *basalt-plastic, fiberglass, basalt pipes, bending, hydrostatic loading, elastic-strength properties.*

For citation: Kopyrin, M. M., Markov, A. E. & Ivanov, A. N. (2021). Investigation of the elastic-strength characteristics of basalt-plastic pipes, obtained by the OLTW method. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 104-109. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.014.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в сфере тепло- и водоснабжения ЖКХ предъявляются высокие требования к качеству материала эксплуатируемых труб: коррозионная стойкость, прочность, долгий срок службы и пр. Металлические трубы, которые применялись ранее и применяются до сих пор, имеют короткий срок службы (не более 12 лет [1]) и низкую коррозионную устойчивость [2]. Дополнительными факторами раннего разрушения металлических труб водоснабжения и теплосетей являются: нарушения условий хранения, проведение сварных работ в «полевых» условиях и погодно-климатические факторы [3].

На замену металла используются полимерные материалы, обладающие высоким сроком службы, прочностными характеристиками и не подвергающиеся коррозийному разрушению. Особый интерес вызывают базальто- и стекловолокна при создании полимерных композиционных материалов (ПКМ) в связи с их высокими эксплуатационными характеристиками и стойкостью к агрессивным средам. [4–6]. Срок эксплуатации труб на основе таких материалов составляет в среднем от 30 лет и выше.

При создании труб на основе базальто- и стеклоткани применяются различные виды намотки: продольно-поперечная намотка (ППН), спирально-продольная намотка (СПН), косослойно продольно-поперечная намотка (КППН) и пр. [7]. Последний метод намотки вызывает набольший интерес для применения. Это связано с рядом его достоинств: высокая производительность, возможность намотки труб больших диаметров, возможность непрерывной намотки; очень высокая плотность укладки волокон, возможность варьирования в широких пределах соотношения кольцевого и осевого армирования, обеспечения равномерного распределение продольно-поперечной нагрузки и пр. [8–11].

На основании вышеизложенного, интерес вызывает изучение физико-механических и упруго-прочностных характеристик базальтопластиковых труб, полученных методом КППН.

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ И ОБРАЗЦЫ

Для исследования прочностных характеристик труб были получены образцы из комбинированного базальтового материала диаметром D = 315 мм с разными толщинами стенок: 6 и 12 мм.

Также были получены трубы из стеклопластика D = 315 мм (с толщиной стенки 4 мм) двух видов – не эксплуатированных и эксплуатированных в системе теплоснабжения в г. Тикси РС(Я) в течение трех лет.

Испытание образцов труб на изгиб проводилось по методике ГОСТ 25.604-82 «Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на изгиб при нормальной, повышенной и пониженной температурах» [12].

Проведение испытаний нагружением внутренним гидростатическим давлением производилось на гидравлическом стенде АЛТ 536.00 (инвентаризационный номер № 0000390, аттестат № 081 от 02.04.2013 года, выдан ФБУ «Алтайским ЦСМ» (Бийский отдел).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе [13] авторами были изучены прочностные характеристики базальто- и стеклотекстолитовых материалов и получены следующие результаты: предел прочности при трехточечном изгибе – 238,5±15 МПа у стеклотекстолитов и 233,5±15 МПа у базальтопластиков; предел прочности при испытании на растяжение – 488,15±15 МПа и 503,05±15 МПа у стеклотекстолитов и базальтотекстолитов соответственно.

С учетом погрешности доверительного интервала измерений прочностные показатели базальтопластика и стеклопластика приблизительно одинаковы.

Методом КППН были получены базальтопластиковые трубы с диаметром 315 мм и с толщиной стенок 6 мм и 12 мм. При этом состав эпоксидного связующего состоял из следующих компонентов: эпоксидная смола (ЭД-22) – 57 %, отвердитель (Изо-МТГФА) – 42 % и ускоритель (Аргидол 53) – 1 %.

Для сравнения были взяты 2 вида стеклопластиковых труб диаметром D = 315 мм и с толщиной стенки 4 мм: эксплуатированные и не эксплуатированные. Данные трубы были получены методом линейной непрерывной намотки, состав эпоксидного связующего, следующий: эпоксидная смола (ЭД-20) – 58 %, отвердитель (ЭТАЛ-370) – 41 % и ускоритель (Аргидол 53) – 1 %. Срок эксплуатированных труб составляет 3 года. Труба была использована в системе теплоснабжения непрерывно в течение 3 лет, при температуре 80–100 ºС и при давлении внутри трубы p = 0,1 – 0,15 МПа.

Для проведения испытаний на изгиб были изготовлены по 6 образцов из труб разной толщины и материала. Предварительная нагрузка составила 50 Н, скорость предварительной нагрузки 10 мм/мин, скорость нагружения 10 мм/мин. Расстояние между опорами для материала толщиной 6 мм составило 46 мм. Для материала толщиной 12 мм расстояние между опорами составило 57 мм.

В таблице 1 приведены результаты испытаний на трехточечный изгиб для базальтопластиковых образцов с толщиной 6 мм и 12 мм.

Таблица 1 – Пределы прочности при статическом изгибе образцов толщиной 6 и 12 мм

Table 1 - Static bending strengths for specimens 6 and 12 mm thick

№ образца / толщина	Предел прочности при статическом изгибе $\delta_{проч}$, МПа	
	6 мм	12 мм
1	506,0	458,0
2	468,0	458,5
3	425,0	458,0
4	517,0	452,0
5	579,0	393,0
6	500,0	408,0

Среднее значение предела прочности образцов толщиной 6 мм составил – 514 ± 25,5 МПа, при толщине 12 мм – 447 ± 22,5 МПа.

В таблице 2 приведены значения предела прочности образцов не эксплуатированной стеклопластиковой трубы.

Таблица 2 – Предел прочности образцов не эксплуатированной стеклопластиковой трубы

Table 2 - Ultimate strength of non-exploited fiberglass pipe samples

№ образца	Предел прочности при статическом изгибе $\delta_{проч}$, МПа
1	722,1
2	662,2
3	570,1
4	780,2
5	622,2
6	870,8

Среднее значение прочности при изгибе стеклопластиковых труб составило 704,6 ± 14 МПа. При этом показатели предела прочности при статическом изгибе эксплуатированных стеклопластиковых труб показало ухудшение прочностных характеристик в среднем на 29,3 %.

Предел прочности при трехточечном изгибе у комбинированных базальтопластиковых труб выше, чем у пропиленовых труб, и равен пределу прочности стальных труб, варьируемых от марки стали [14, 15]. Для дальнейшего изучения прочностных характеристик композиционных труб в качестве ровинга была выбрана базальтовая ткань. Это связано с её высокой стойкостью к агрессивным средам и устойчивостью к истиранию по сравнению со стекловолокном [16–19].

Для проведения испытаний нагружением внутренним гидростатическим давлением было изготовлено методом КППН 3 образца базальтопластиковых труб, длиной 1,5 м и толщиной стенки – 5 мм.

Проведение испытаний нагружением внутренним гидростатическим давлением производилось на гидравлическом стенде АЛТ 536.00 (инвентаризационный номер № 0000390, аттестат № 081 от 02.04.2013 года, выдан ФБУ «Алтайским ЦСМ» (Бийский отдел).

На первом этапе создавалось пробное давление, равное до 9,0 МПа. Далее производилось нагружение каждого из образцов ступенчато. Сначала создавалось пробное давление 1,6 МПа, осуществлялась выдержка под пробным давлением в течение 5 минут, после чего давление сбрасывалось до нуля. Затем аналогичным образом каждый из образцов нагружался давлением 2,5 МПа, 4,0 МПа и 6,3 МПа. В ходе данных нагружений разрушения базальтопластикового слоя не выявлено, протечки не обнаружены.

Затем каждый из образцов нагружался максимально возможным давлением (9,0 МПа). При проведении этих испытаний нарушений целостности базальтопластиковых оболочек (тел) труб всех трех образцов не выявлено. Образцы № 1 и № 3 были нагружены давлением 9,0 МПа и выдержаны под ним в течение 1 минуты. При нагружении образца № 2 разрушилась испытательная оснастка при давлении 8,3 МПа.

По такой же схеме проводили испытания комбинированной базальтопластиковой трубы с полиэтиленовой пленкой «Прален». Испытали по три образца трубы с толщиной стенки 6 мм (базальта 5 мм + полиэтилен 1 мм). При нагрузке до 10 МПа разрушений не обнаружили. При нагружении образца до максимума 12 МПа разрушений также не обнаружили.

ВЫВОДЫ

1. При создании труб на основе ПКМ особый интерес вызывает метод КППН. Данная технология включает в себя продольную, поперечную, спиральную виды намотки и так называемую псевдоленту, которая состоит из параллельных пучков волокон, пропитанных связующим. К преимуществам данного типа намотки относятся: высокая производительность, создание труб с большим диаметром, возможность непрерывной намотки, высокая плотность укладки волокон, широкое варьирование соотношения кольцевого и осевого армирования, низкая горючесть полученных материалов.

2. Изучены образцы базальто- и стеклотекстолита с различным типом переплетения. Полученные результаты на прочностные характеристики показывают зависимость от типа переплетения тканей. Несмотря на то, что у стеклотекстолитов значения пределов прочности чуть выше, чем у базальтотекстолитов, с учетом погрешности доверительного интервала измерений показатели базальтотекстолита и стеклотекстолита находятся на одном уровне.

3. Получены образцы труб базальтопластика и комбинированной полиэтиленовой пленкой «Прален» базальтопластика. Изучение физико-механических свойств базальтопластиковой трубы выявило следующее: предел прочности при изгибе образца трубы с толщиной стенки 6 мм равен 514 МПа, что значительно превышает значение предела прочности стальных труб (в зависимости от марки стали: сталь 10, 20, 30 …) от 350 МПа до 650 МПа, и значение предела прочности пропиленовых труб – 260–400 МПа. Проведение испытания гидростатическим нагружением показало, что трубы на основе базальтопластика обладают высокой герметичностью и прочностью. Трубы не разрушались под действием внутреннего гидростатического давления до 9–12 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветер В.В., Самойлов М.И., Ланин Л.А. Использование труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для прокладки теплопроводов с теплоносителем давлением до 1,6 МПа и температурой 150 ºС // Теплоэнергетика. 1999. № 10. С. 59–60.

2. Ковылянский Я.А., Лось А.О. Некоторые пути совершенствования и повышения надежности труб тепловых сетей // Теплоэнергетика. 1990. № 9. С. 19–22.

3. Старикова, Е.Ю., Петрик, П.Т. Пути решения проблем защиты теплопроводов от коррозии // Вестник КузГТУ. 2003. № 6. С. 65–70.

4. Dhand V., Mittal G., Rhee K.Y., Hui D. A short review on basalt fiber reinforced polymer composites // Composites : Part B. 2015. Vol. 73. P. 166–180. DOI: 10.1016/j.compositesb.2014.12.011.

5. Artemenko S.E., Kadykova Y.A. Polymer composite materials based on carbon, basalt, and glass fibres // Fibre Chem. 2008. Vol. 40. P. 37–39. DOI: doi.org/10.1007/s10692-008-9010-0.

6. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5–1. С. 245–256.

7. Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. М. : Теплоэнергетик, 2002. 412 с.

8. Русских Г.И., Башара В.А., Блазнов А.Н. Технология непрерывного формования стеклопластиков. М. : Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, 2016. 178 с.

9. Аношкин А.Н. Теория и технология намотки конструкций из полимерных композиционных материалов. М. : Перм. гос. техн. ун-т, 2003. 118 с.

10. Карандашов О.Г., Авраменко В.Л., Подгорная Л.Ф. Исследование технологических параметров косослойной продольно-поперечной намотки периодическим способом при производстве стеклопластиковых изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками // Norwegian Journal of Development of the International Science. – 2020. № 39–1. P. 32–37.

11. Ходакова Н.Н., Блазнов А.Н., Самойленко, В.В. Влияние схемы намотки на формирование механических свойств изделий из композитов в продольном и поперечном направлении // Южно-Сибирский научный вестник. 2016. № 4 (16). С. 17–25.

12. ГОСТ 25.604. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на изгиб при нормальной, повышенной и пониженной температурах. М. : Стандартинформ, 1984. 7 с.

13. Лукачевская И.Г., Лебедев М.П., Кычкин А.К. Исследование прочностных свойств текстолита, армированного тканями с прямым переплетением пучков базальтового ровинга // Труды VIII Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата EURASTRENCOLD-2018. Якутск : Цумори Пресс. 2018. С. 557–560.

14. Циммерман Р., Гюнтер К. Металлургия и материаловедение : Справ. изд. ; пер. с нем. М. : Металлургия, 1982. 480 с.

15. Перепёлкин В.П. Полипропилен, его свойства и методы переработки. Л. : ЛДНТП, 1963. – 256 с.

16. Егоров Д.А. Использования труб из полимерных материалов // Евразийский научный журнал. 2016. № 6. С. 317–328.

17. Полимерные композиты на основе химических волокон, их основные виды, свойства и применение. 2007. URL : https://plastinfo.ru/information/articles/27/ (дата обращения (21.05.2021).

18. Militký J., Kovačič V., Rubnerová J. Influence of thermal treatment on tensile failure of basalt fibers // Engineering Fracture Mechanics – 2002. – Vol. 69 (9). P. 1025–1033. DOI:10.1016/s0013-7944(01)00119-9.

19. Sharma V., Meena M.L., Kumar M., Patnaik A. Mechanical and three-body abrasive wear behavior analysis of glass and basalt fiber-reinforced epoxy composites // Polymer Composites 2020. Vol. 41(9). P. 3717–3731. DOI:10.1002/pc.25670.

Информация об авторах

М. М. Копырин – младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН», аспирант 3-го курса ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН».

А. Е. Марков – инженер первой категории Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН.

А. Н. Иванов – инженер первой категории Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН.

REFERENCES

1. Veter, V.V., Samoilov, M.I. & Lanin, L.A. (1999). The use of pipes made of ductile cast iron with spheroidal graphite for laying heat conductors with a coolant pressure up to 1.6 MPa and a temperature of 150 ºC. *Teploenergetika*. (10). 59-60. (In Russ.).

2. Kovyliansky, Ya.A., Los, A.O. (1990). Some ways to improve and increase the reliability of pipes of heating networks. *Teploenergetika*. (9), 19-22. (In Russ.).

3. Starikova, E.Yu., Petrik. P.T. (2003). Ways of solving the problems of protection of heat pipelines from corrosion. *Bulletin of KuzGTU*. (6). 65-70. (In Russ.).

4. Dhand, V., Mittal, G., Rhee, K.Y. & Hui, D., (2015). A short review on basalt fiber reinforced polymer composites. *Composites*: Part B, (73), 166-180. DOI: 10.1016/j.compositesb.2014.12.011. (In Russ.).

5. Artemenko, S.E. & Kadykova, Y.A. (2008). Polymer composite materials based on carbon, basalt, and glass fibers. *Fiber Chem*. (40). 37-39. DOI: doi.org/10.1007/s10692-008-9010-0. (In Russ.).

6. Kolosov, A.S., Sokolskaya, M.K., Vitkalova, I.A., Torlova, A.S. & Pikalov, E.S. (2018). Modern polymer composite materials and their application. *International Journal of Applied and Fundamental Research.* (5-1). 245-256. (In Russ.).

7. Dzhigiris, D.D. & Makhova, M.F. (2002). Basics of production of basalt fibers and products. Moscow: Teploenergetik. (In Russ.).

8. Russians, G.I., Bashara, V.A. & Blaznov, A.N. (2016). Technology of continuous molding of glass-plastics. Barnaul : Polzunov Altai State Technical University. (In Russ.).

9. Anoshkin, A.N. (2003). Theory and technology of winding structures made of polymer composite materials : Moscow: Perm State. tehn. un-t. (In Russ.).

10. Karandashov, O.G., Avramenko, V.L. & Podgornaya, L.F. (2020). Investigation of technological parameters of oblique longitudinal-transverse winding by a periodic method in the production of fiberglass products with increased operational characteristics. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. (39-1). 32-37.

11. Khodakova, N.N., Blaznov, A.N. & Samoilenko, V.V. (2016). The influence of the winding scheme on the formation of mechanical properties of products from composites in the longitudinal and transverse directions. *Yuzhno-Siberian Scientific Bulletin*. 4(16). 17-25. (In Russ.).

12. Design calculation and strength testings. Methods of Mechanical testing of Polymeric Composite Materials. Test for Bending Properties at normal, elevated and low temperatures. (1984). *HOST 25.604-82 from 1 Jan 1984.* Moscow : Standardinform. (In Russ.).

13. Lukachevskaya, I.G., Lebedev, M.P. & Kychkin, A.K. (2018). Investigation of the strength properties of tectolite reinforced with fabrics with direct interweaving of basalt roving beams. *Proceedings of the VIII Eurasian Symposium on the Problems of Strength of Materials and Machines for Cold Climate Regions EURASTRENCOLD-2018*. Yakutsk : Tsumori Press. (In Russ.).

14. Zimmerman, R., Gunther, K. (1982). Metallurgy and materials science. Ref. ed. Per. with him. Moscow: Metallurgy. (In Russ.).

15. Perepyolkin, V.P. (1963). Polypropylene, its properties and processing methods. Leningrad: LDNTP. (In Russ.).

16. Egorov, D.A. (2016). The use of pipes made of polymer materials. *Eurasian Scientific Journal.* (6). 317-328. (In Russ.).

17. Polymer composites based on chemical fibers, their main types, properties and applications (2007). Received from https://plastinfo.ru/information/articles/27/. (In Russ.).

18. Militký, J., Kovačič, V. & Rubnerová, J. (2002). Influence of thermal treatment on tensile failure of basalt fibers. *Engineering Fracture Mechanics* 69(9). 1025-1033. DOI: 10.1016/s0013-7944 (01) 00119-9.

19. Sharma, V., Meena, M.L., Kumar, M. & Patnaik, A. (2020). Mechanical and three-body abrasive wear behavior analysis of glass and basalt fiber-reinforced epoxy composites. Polymer Composites. 41(9). 3717-3731. Doi: 10.1002/pc.25670.

Information about the authors

M. M. Kopyrin - Junior Researcher, Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS", 3rd year postgraduate student of the "V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS".

A. E. Markov - engineer of the first category of the Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.I. V.P. Larionov SB RAS.

A. N. Ivanov - engineer of the first category of the Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.I. V.P. Larionov SB RAS.

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

Статья поступила в редакцию 20.09.2021; одобрена после рецензирования 15.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 20 Sep 21; approved after reviewing on 15 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 110–114
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 110–114.

Научная статья
05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678.743.41
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.015

РАЗРАБОТКА ФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИТОВ, АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНАМИ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТА

Александр Александрович Ушканов [1], Сардана Афанасьевна Слепцова [2], Сахая Владимировна Горохова [3]

[1, 2, 3] Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия
[1] alexanderushkanov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5638-8399
[2] ssard@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2396-3267
[3] sakhaya777@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5770-7371

Аннотация. *В современном столетии экологически безопасные волокна оказались в центре внимания ученых со всего мира как конкурентоспособное по характеристикам и по стоимости. Основным недостатком таких волокон является то, что их структура позволяет поглощать влагу, что, в свою очередь, приводит к слабым связям между матрицей и наполнителем. В работе представлены результаты исследований по разработке полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и механически активированных базальтовых волокон. Установлено, что при введении волокон природного происхождения в полимерную матрицу свойства деформационной прочности композитов при сжатии увеличивается до 38 %, а предел прочности при растяжении композитов, напротив, уменьшается до 20 % по сравнению с исходным полимером. Возможно, технология свободного спекания при изготовлении композитов и малое время механической активации волокон в планетарной мельнице приводит к повышенной пористости и снижению прочности. Наблюдается увеличение износостойкости композитов до 1700 раз по сравнению с ненаполненным ПТФЭ. Предварительно активированные базальтовые волокна по мере увеличения концентрации до 5 масс. % благоприятно влияют на формирование устойчивой к трению структуры ПТФЭ. Было выявлено, что полимерный композит, армированный базальтовыми волокнами, является хорошей альтернативой для получения легких, экономически выгодных и более экологически чистых материалов.*

Ключевые слова: *фторопласт, политетрафторэтилен, полимерный композит, базальт, натуральное волокно, механическая активация, арматура, связующее.*

Благодарности: *Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания на выполнение научных исследований лабораториями под руководством молодых, перспективных исследователей в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты».*

Для цитирования: Ушканов, А. А., Слепцова, С. А., Горохова, С. В. Разработка фторопластовых композитов, армированных волокнами на основе базальта // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 110–114. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.015.

© Ушканов, А. А., Слепцова, С. А., Горохова, С. В., 2021

Original article

DEVELOPMENT OF FLUOROPLASTIC COMPOSITES REINFORCED WITH FIBERS BASED ON BASALT

Alexander A. Ushkanov [1], Sardana A. Sleptsova [2], Sakhaya V. Gorokhova [3]

[1, 2, 3] North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia
[1] alexanderushkanov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5638-8399
[2] ssard@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2396-3267
[3] sakhaya777@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5770-7371

Abstract. *In the modern century, environmentally friendly fibers have become the focus of scientists from all over the world as a fiber that is competitive in terms of characteristics and cost. The main disadvantage of such fibers is that their structure allows them to absorb moisture, which in turn leads to weak bonds between the matrix and the filler. The work presents the results of research on the development of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene and mechanically activated basalt fibers. It was found that with the introduction of natural fibers into a polymer matrix, the properties of the deformation strength of composites in compression increases to 38%, and the tensile strength of composites, on the contrary, decreases to 20% in comparison with the initial polymer. Possibly, the technology of free sintering in the manufacture of composites and a short time of mechanical activation of fibers in a planetary mill leads to increased porosity and a decrease in strength. An increase in the wear resistance of composites up to 1700 times is observed in comparison with unfilled PTFE. Pre-activated basalt fibers with an increase in concentration to 5 wt.% Favorably affect the formation of a friction-resistant PTFE structure. It was found that a polymer composite reinforced with basalt fibers is a good alternative for obtaining lightweight, cost-effective and more environmentally friendly materials.*

Keywords: *fluoroplastic, polytetrafluoroethylene, polymer composite, basalt, natural fiber, mechanical activation, reinforcement, binder.*

Acknowledgements: *The article was prepared within the framework of the implementation of the state assignment for the implementation of scientific research by laboratories under the guidance of young, promising researchers in the framework of the implementation of the national project "Science and Universities".*

For citation: Ushkanov, A. A. Sleptsova, S. A. & Gorokhova, S. V. (2021). Development of fluoroplastic composites reinforced with fibers based on basalt. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 110-114. 9. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.015.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, несмотря на то, что производство и потребление композитных материалов на основе углеродных волокон стремительно растет, на мировом рынке все большее признание завоевывают натуральные волокна, обладающие уникальным комплексом свойств: высокой прочностью, экологичностью и т.д.

Мир нуждается в решении экологических проблем, поэтому их снижение должно быть сейчас приоритетной задачей во всех сферах деятельности человека. В области создания композитов замена углеродных волокон более экологически чистыми базальтовыми волокнами давно привлекает внимание материаловедов, благодаря уникальным характеристикам базальта. Использование специальных методик и технологий для более полного раскрытия свойств базальтового волокна может привести к созданию полимерных композиционных материалов (ПКМ) с требуемыми характеристиками, не уступающими, а в некоторых случаях превосходящими свойства композитов с углеродными волокнами. К слову, пандемия COVID-19 стала напоминанием о деликатных отношениях между людьми и нашей планетой. Более здоровая окружающая среда может предотвратить почти четверть глобального бремени болезней.

Базальтовые волокна имеют почти те же преимущества, что и стеклянные и углеродные волокна, но обладают рядом характеристик, отличающих их от других. Например, при производстве базальтовых волокон нет

необходимости вводить специальные компоненты или добавки. Исходя из этого, выброс вредных веществ из доменных печей практически равен нулю. Если рассматривать с экономической точки зрения, то базальт является дешевым и тем самым общедоступным, а запасы ее практически неисчерпаемы [1–3].

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) обладает удивительными свойствами. Молекула ПТФЭ похожа на живое существо. Если взглянуть на ее формулу (-F2C-CF2-)n, то линия связи –C–C–C– многих тысяч атомов углерода напоминает позвоночник, а телом молекулы служит оболочка из атомов фтора, размещенных по спирали вокруг «позвоночника» [4].

Важно отметить, что выбор компонентов также осуществлен из технической задачи создания материала, в котором необходимо сочетание двух важных свойств, как морозо- и износостойкость.

Целью данной работы является разработка фторопластового композита на основе экологически безопасного (насколько это возможно) и экономически доступного армирующего базальтового волокна для использования их в узлах трения техники.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования служили ПТФЭ марки ПН-90 (ГОСТ 10007-80) производства АО «ГалоПолимер» и композиты на его основе, армированные заранее измельченными в мельнице «Fritsch Pulverizette 15» базальтовыми волокнами ООО «ТБМ». Длина волокон варьируется от 30 до 90 мкм, а их диаметр в диапазоне – 8,0–10,0 мкм.

Подготовка компонентов заключалась в сушке при температуре 180 ºС в течение 4 часов для ПТФЭ и 120 ºС в течение 2,5 часов для БВ, затем базальтовые волокна подвергали предварительной механической активации в течение 2 мин в планетарной шаровой мельнице «Активатор 2S».

Преимущество планетарной мельницы, в отличие от других аппаратов, является действие центробежных сил, которые возникают при быстром вращении барабанов как вокруг своей, так и общей оси мельницы.

Композиты для испытаний получали сухим смешением предварительно высушенных компонентов с последующим формованием, после чего спекали в муфельной печи при температуре 375 ºС и производили калибровку для удаления последствий термической усадки.

Скорость массового изнашивания (ГОСТ 11629-2017) проведена на машине трения CETR UMT-3 (США) по схеме «палец–диск» при удельном давлении 2 МПа, скорости скольжения 0,2 м/с.

Испытания на сжатие (ГОСТ 4651-2014) и разрыв (ГОСТ 11262-80) проводили с использованием тестера механических свойств Autograph (Shimadzu, Япония) при температуре 23±2 ºС. Скорости испытания: на сжатие – 1 мм/мин; на разрыв – 50 мм/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Были изучены свойства композиционных материалов в диапазоне концентраций от 1 до 3 масс. %.

В таблицах 1–2 представлены результаты исследования физико-механических характеристик ПТФЭ и композитов на его основе.

Таблица 1 – Исследование прочности при сжатии ПТФЭ и ПКМ на его основе

Table 1 - Compressive strength studies of PTFE and composites based on it

№	Состав, % масс.	$\sigma_{сж}$, МПа		
		2,5 %	10 %	25 %
1	ПТФЭ	2	13	21
2	+ 1 % БВ	2	15	24
3	+ 3 % БВ	2	15	23
4	+ 5 % БВ	3	18	22

$\sigma_{сж}$, МПа – прочность при сжатии

Как видно из таблицы 1, введение базальтового волокна в полимерную матрицу от 1 до 5 масс. % приводит к повышению прочности на сжатие композитов до 38 % по сравнению с исходным полимером.

Результаты полученных данных показывают, что армирование ПТФЭ волокнами положительно влияют на повышение его прочности.

Таблица 2 – Исследование предела прочности при растяжении и относительного удлинения ПТФЭ и ПКМ на его основе

Table 2 - Studies of the tensile strength and elongation of PTFE and PCM based on it

№	Состав, % масс.	$\Delta\sigma_p$ МПа	$\Delta\varepsilon$р, %
1	ПТФЭ	22	354
2	+ 1 % БВ	23	395
3	+ 3 % БВ	20	390
4	+ 5 % БВ	17	373

$\Delta\sigma_p$ МПа – предел прочности при растяжении, $\Delta\varepsilon$р, % – относительное удлинение при разрыве

Из таблицы 2 видно, что предел прочности при растяжении композитов с наименьшим содержанием предварительно активированного волокна возрос на 4 %. При содержании наполнителя в количестве 3 масс. % и более, напротив, происходит снижение прочности исследуемых образцов до 22 % от исходной неармированной.

Для более прозрачной картины было принято решение отказаться от добавления дополнительного компонента [5]. Вполне вероятно, что именно его отсутствие привело к ухудшению значений прочности при растяжении.

С одной стороны, такое поведение является характерным явлением для полимерных материалов и объясняется ослаблением межмолекулярных связей ПТФЭ. Иными словами, чем больше содержания наполнителя, тем слабее связи и тем хуже прочность материала [6].

С другой стороны, в отдельных случаях изготовление композитов по методу свободного спекания приводит к повышенной пористости и снижению прочностных характеристик. Исходя из этого, изъяном представленной технологии является отсутствие возможности приложения давления в процессе спекания [7].

Важно также отметить природу самого волокна. В работе Мохаммеда Ли. и др. [8] описывается, что структура волокон способна поглощать влагу, что вызывает слабые связи на границе «полимер–наполнитель».

Относительное удлинение ПКМ увеличивается на 5–10 % при добавлении активированного волокна. В силу того, что полимеры нельзя строго отнести к кристаллическим или аморфным веществам, то допустимо предположить, что возрастание относительного удлинения происходит с увеличением доли аморфной фазы. По сравнению с кристаллическими, аморфные области полимеров имеют способность к образованию множества пустот, которые в итоге могут привести к рыхлости упаковки [9].

Таблица 3 – Исследования триботехнических характеристик ПТФЭ и ПКМ на его основе

Table 3 - Studies of the tribotechnical characteristics of PTFE and PCM based on it

№	Состав, % масс.	J, mg/h	f
1	ПТФЭ	51,39	0,23
2	+ 1 % БВ	0,16	0,34
3	+ 3 % БВ	0,2	0,34
4	+ 5 % БВ	0,03	0,32

J, mg/h – скорость массового изнашивания, f – коэффициент трения

Анализ данных, приведенных в таблице 3, показывает, что стойкость к износу композитов увеличилась в интервале от 250 до 1700 раз по сравнению с ненаполненным ПТФЭ. При этом высокая стойкость к износу наблюдается у композита с содержанием 5 % масс. БВ.

Уменьшение износа, возможно, связано армирующей способностью волокон, когда базальтовые волокна, пронизывая полимерную матрицу, создают формирование упрочненной структуры. А подобное образование надмолекулярной структуры придает композиту жесткость и, как последствие, более высокую износостойкость [3].

Таким образом, волокна, расположенные на фрикционной поверхности, образуют своего рода защитную структуру, предотвращающую деформации сдвига и предохраняющую от разрушения.

Высокая износостойкость у полимерных материалов важна в подвижных соединениях, но для применения их при высоких сжимающих и растягивающих напряжениях необходимо, чтобы полимерные композиты обладали повышенными прочностными и вязкоупругими свойствами [10].

ВЫВОДЫ

На основании проведенных испытаний установлено, что БВ является хорошей альтернативой традиционным волокнам. Показано, что армирование ПТФЭ БВ приводит к увеличению деформационной прочности при сжатии до 38 % по сравнению с чистым ПТФЭ. Установлено, что при введении в полимер БВ износостойкость увеличивается до 1700 раз. Ухудшение предела прочности при растяжении возможно объяснить низкой межфазной адгезией между ПТФЭ и БВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моргулес Д.Ю. Прочные нити высоких технологий : Челябинский обзор. 2016. URL : https://obzor174.ru/ (дата обращения: 10.08.21).

2. Васильев С.В., Гоголева О.В. Исследование свойств полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена и отходов производства базальтового волокна // Наука и образование. 2016. № 3. С. 63–67.

3. Базальтофторопластовые композиты антифрикционного назначения / А.А. Охлопкова [и др.] // Вестник СВФУ. 2013. Т. 10. № 5. С. 30–36.

4. Логинов Б.А. Удивительный мир фторполимеров. М., 2008. 128 с., илл.

5. Рыбин В.А. Физико-химическое исследование базальтового волокна с защитными щелочестойкими покрытиями : дис. …канд. хим. наук. Новосибирск, 2016. 143 с.

6. Кириллина Ю.В., Слепцова С.А., Джин Хо-Чо. Влияние способа смешения компонентов на свойства полимер-силикатного композиционного материала // Арктика XXI век. Технические науки. 2013. №1 (1). С. 13–26.

7. Болдин М.С. Физические основы технологии электромпульсного плазменного спекания // Электронное учебно-методическое пособие. 2012. 59 с.

8. Layth Mohammed, M.N.M. Ansari, Grace Pua, Mohammad Jawaid, M. Saiful Islam. A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications // Open Access. 2015. 15 pages. Article ID243947. https://doi.org/10.1155/2015/2439479.

9. Помогова, Д.И. Влияние ультразвукового воздействия на структуру и свойства полиолефиновых смесей : дис. …канд. тех. наук. Москва, 2019. 111 с.

10. Маркова М.А., Петрова П.Н., Федоров, А.Л., Попов, С.Н. Разработка высокопрочных полимерных материалов на основе политетрафторэтилена // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. № 2 (25). С. 157–166. doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-1.

Информация об авторах

А. А. Ушканов – аспирант 2 курса химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова»; вед. инженер УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов».

С. А. Слепцова – кандидат технических наук, зав. УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов», доцент химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

С. В. Горохова – студент 3 курса химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

REFERENCES

1. Morgules, D.Yu. Prochnye niti vysokih tekhnologij (2016). Retrieved from https://obzor174.ru. (In Russ.).

2. Vasilev, S.V. & Gogoleva, O.V. (2016). Isledovanie svoistv polimernogo kompozicionnogo materiala na osnove politetraftoretilenai otkhodov proizvodstva bazal'tovogo volokna. *Nauka i obrazovanie*, (3), 63-67. (In Russ.).

3. Okhlopkova, A.A., Vasilev, S.V., Petrova, P.N., Fedorov, A.L., Tuisov, A.G. (2013). Bazal'toftoro-plastovye kompozity antifrikcionnogo naznacheniya. Vestnik nauchnyh konferencij, (Vol. 10, No 5), 30-36. (In Russ.).

4. Loginov, B.A. (2008). The amazing world of fluoropolymers, 128. (In Russ.).

5. Rybin, V.A. (2016). Physicochemical study of basalt fiber with alkali-resistant protective coatings: Extended abstract of kand. tekhn. nauk. Novosibirsk. (In Russ.).

6. Kirillina, Yu.V., Sleptsova S.A., Dzhin Ho-CHo. (2013). Vliyanie sposoba smesheniya komponentov na svojstva polimer-silikatnogo kompozicionnogo materiala. Arktika XXI vek. Tekhnicheskie nauki, 1(1), 13-26. (In Russ.).

7. Boldin, M.S. (2012). Physical foundations of the technology of electron-pulse plasma sintering // Electronic training manual, 59. (In Russ.).

8. Layth Mohammed, M.N.M. Ansari, Grace Pua, Mohammad Jawaid, M. Saiful Islam. A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications // Open Access. 2015. 15 pages. Article ID243947. https://doi.org/10.1155/2015/243947.

9. Pomogova, D.I. (2019). Influence of ultrasonic action on the structure and properties of polyolefin mixtures. Extended abstract of kand. tekhn. nauk. Moscow. (In Russ.).

10. Markova, M.A., Petrova, P.N., Fedorov, A.L., Popov, S.N. (2020). Razrabotka vysokoprochnyh polimernyh materialov na osnove politetraftoretilena. Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki, 2(25), 157-166. (In Russ.).

Information about the authors

A. A. Ushkanov - 2nd year post-graduate student of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences (NEFU); lead engineer of the educational, scientific and technological laboratory «Technologies of polymer nanocomposites».

S. A. Sleptsova - Candidate of Technical Sciences, Head of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites", associate professor of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU.

S. V. Gorokhova - 3rd year student of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences, NEFU.

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

Статья поступила в редакцию 30.10.2021; одобрена после рецензирования 19.11.2021; принята к публикации 30.11.2021.

The article was received by the editorial board on 30 Oct 21; approved after reviewing on 19 Nov 21; accepted for publication on 30 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 115–122.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 115–122.

Научная статья
05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 664.2
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.016

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КРАХМАЛОВ

Геннадий Валентинович Алексеев [1], Вячеслав Алексеевич Шанин [2], Анна Геннадьевна Леу [3], Артем Андреевич Бирченко [4]

[1, 2, 3, 4] Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
[1] gva2003@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-2867-108X
[2] shanin.vyacheslav@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-1257-2319
[3] anna.leu@mail.ru
[4] topgear67@mail.ru

Аннотация. *Современные исследования в области получения модифицированных крахмалов выполняются, как правило, с целью разработки высокоэффективного метода обработки крахмала для получения продукта, предназначенного для применения в пищевой промышленности и обладающего требуемыми потребительскими характеристиками. Повсеместное использование модифицированных крахмалов в качестве функциональных добавок в технологических процессах стимулирует запрос на получение новых видов продукта и оптимизацию методов обработки сырья. Применение ультразвука в качестве способа воздействия на структуру крахмала представляет интерес для использования в пищевой промышленности как экологичный, безопасный и эффективный метод обработки. Крахмал, модифицированный ультразвуком, в зависимости от условий процесса обработки может приобретать такие свойства, как повышенная влагоудерживающая способность, снижение температуры и времени клейстеризации, повышение скорости и степени набухания. В связи с тем, что модифицированные крахмалы являются востребованным продуктом, актуальна разработка технологической схемы процесса получения модифицированных крахмалов и технологического оборудования, отвечающего требованиям современных промышленных предприятий. Предлагаемая нами конструкция аппарата для модифицирования крахмала обеспечивает более равномерную обработку сырья и позволяет интенсифицировать процесс благодаря устройству конической части аппарата и работе ультразвукового генератора, вызывающего эффект кавитации в суспензии. Использование постоянного магнита в составе конструкции аппарата вызывает в суспензии интенсивное магнитное поле, что приводит к деполяризации молекул жидкости, что также повышает эффективность работы устройства. В результате разработанное устройство позволяет добиться больших значений массового выхода и высокой чистоты модифицированного крахмала по сравнению с аналогичным оборудованием.*

Ключевые слова: *модифицированные крахмалы, ультразвуковая обработка, крахмальная суспензия, кавитация, диспергирование, теория планирования эксперимента, уравнение регрессии.*

Для цитирования: *Использование физических воздействий при интенсификации производства крахмалов / Г. В. Алексеев [и др.].* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 115–122. doi: 10.25712/ ASTU.2072-8921.2021.04.016.

© Алексеев, Г. В., Шанин, В. А., Леу, А. Г., Бирченко, А. А., 2021

Original article

USE OF PHYSICAL INTERVENTIONS IN INTENSIFICATION OF STARCH PRODUCTION

Gennady V. Alekseev [1], Vyacheslav A. Shanin [2], Anna G. Leu [3], Artem A. Birchenko [4]

[1, 2, 3, 4] National Research University ITMO, Saint Petersburg, Russia
[1] gva2003@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2867-108X
[2] shanin.vyacheslav@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-1257-2319
[3] anna.leu@mail.ru
[4] topgear67@mail.ru

Abstract. *Modern research in the field of obtaining modified starches is carried out, as a rule, with the aim of developing a highly efficient method for processing starch to obtain a product intended for use in the food industry and possessing the required consumer characteristics. The widespread use of modified starches as functional additives in technological processes stimulates the demand for obtaining new types of products and optimization of raw material processing methods. The use of ultrasound as a method of influencing the structure of starch is of interest for use in the food industry as an environmentally friendly, safe and effective method of processing. The starch modified by ultrasound, depending on the conditions of the processing process, can acquire such properties as increased water-holding capacity, a decrease in the temperature and time of gelatinization, and an increase in the rate and degree of swelling. Due to the fact that modified starches are a popular product, it is relevant to develop a technological scheme for the process of obtaining modified starches and technological equipment that meets the requirements of modern industrial enterprises. The design of the apparatus for starch modification proposed by us provides a more uniform processing of raw materials and allows to intensify the process due to the device of the conical part of the apparatus and the operation of the ultrasonic generator, which causes the effect of cavitation in the suspension. The use of a permanent magnet in the structure of the apparatus causes an intense magnetic field in the suspension, which leads to depolarization of liquid molecules, which also increases the efficiency of the device. As a result, the developed device makes it possible to achieve high values of mass yield and high purity of modified starch in comparison with similar equipment.*

Keywords: *modified starches, ultrasonic treatment, starch suspension, cavitation, dispersion, theory of experimental design, regression equation.*

For citation: Alekseev, G. V., Shanin, V. A., Leu, A. G. & Birchenko, A. A. (2021). Use of physical interventions in intensification of starch production. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 115-122. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.016.

ВВЕДЕНИЕ

Продовольственная безопасность Российской Федерации требует всемерного развития производства продуктов питания, в том числе импортозамещающих. С этой целью сформулированы перечни инновационных критических технологий и приоритетных направлений развития научно-технологического комплекса, включающие в качестве первостепенных мер развитие технологий биоинженерии и рациональное природопользование. Безусловным первенством в реализации этих направлений в области развития пищевых производств является переработка такого доступного отечественного сырья, как картофель [1].

Производство крахмала и крахмалопродуктов непрерывно растет не только в России, но и в мире, и занимает одно из заметных мест в экономике большинства развитых стран. Это связано с резким ростом в последнее время выработки сахаристых продуктов из модифицированных крахмалов, а также с организацией производства биоразрушаемых полимерных материалов на его основе.

Один из видов модифицированных крахмалов получают обработкой крахмальной суспензии химическими реагентами, в частности, смесями в различных концентрациях $FeSO_4$ и H_2O_2. Проблема часто возникает из-за неравномерности распределения химических реагентов по объему суспензии и нестабильности их воздействия на обрабатываемую среду [2].

Предлагаемый аппарат частично решает эту проблему и представляет собой устройство, которое включает корпус с входным участком в форме расширяющегося по ходу движения эмульсии усеченный конус с патрубком для отвода эмульсии и ротор в виде обращенного вершиной в сторону входного участка корпуса, привода вращательного движения и ультразвукового генератора возвратно-поступательных перемещений [3].

Работает аппарат следующим образом. Между стеной корпуса *1*, на которой располагается постоянный магнит *2* и одноименным полюсом большего диаметра конического ротора *3*, имеющего винтовую канавку, производится конечная обработка крахмальной суспензии, что позволяет достичь интенсивной деполяризации капелек смеси, состоящей из крахмальных зерен и химических ингредиентов. Таким образом, достигается стабильность получаемого крахмала. Для облегчения переноса мелкодиспергированных частиц суспензии ротор *3*, размещаясь в корпусе ротора *4*, опирается на подшипник *5*, соединяясь с приводом *6* и электродвигателем *7*. На корпусе ротора *4* установлен ультразвуковой генератор *8* в виде двух встречно включаемых электромагнитных катушек. Генерируемые ими ультразвуковые колебания вызывают эффект кавитации ингредиентов суспензии, с большой скоростью перемещающихся в винтовой канавке ротора *3*. Разбрызгивающаяся в зоне патрубка для отвода смесь посредством регулятора *9* обрабатывается в магнитном поле необходимой для большей стабильности напряженности, что обеспечивается необходимым режимом магнитно-ультразвуковой обработки.

Конструкция и принцип работы устройства позволяет увеличить дисперсность крахмальной суспензии, что положительно сказывается на ее структурной стойкости. Частицы в смеси, перемещаясь по винтовой канавке, интенсивно перемешиваются и разгоняются, разбрызгиваясь на срезе большего диаметра конического ротора. Установленный на отводном патрубке постоянный магнит с возможностью регулирования зазора между ним и плоской поверхностью ротора позволяет варьировать интенсивность магнитной обработки смеси, деполяризуя капельки суспензии, попадающие в неравномерное магнитное поле высокой напряженности. После этого деполяризованные частички теряют способность вновь соединяться с другими каплями суспензии, что повышает дисперсность продукта.

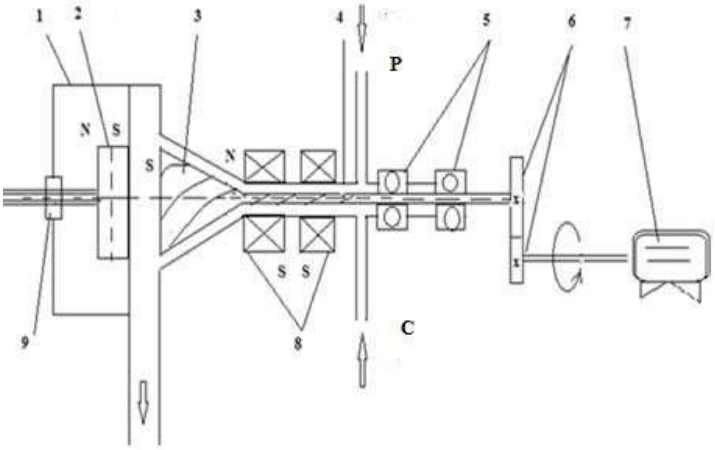


Рисунок 1 – Аппарат для стабилизации свойств пищевой суспензии
Р – химические реагенты, С – крахмальная суспензия

Figure 1 - Apparatus for stabilizing the properties of food suspension
P - chemical reagents, C - starch suspension

Процессам совершенствования технологий переработки пищевого сырья посвящено большое количество исследований, в том числе с использованием самых последних научных достижений. К числу таких новых технологических приемов относят воздей-

ствие на пищевые среды физических полей разной природы и интенсивности.

Исследовано, например, влияние магнитного поля на седиментационный процесс отстаивания сусла. На основании многочисленных лабораторных опытов установлены условия достижения максимального эффекта омагничивания: совместная обработка с адсорбентами, соблюдение последовательности и определенных режимов омагничивания и др.

Е. А. Сидорова и Г. Ш. Дандамаев [4] сообщали об использовании омагничивания вин с целью их осветления. Эти же авторы испытали и магнитную обработку сусла для улучшения его осветления.

И. Г. Чумак, А. В. Овсянник и В. С. Мурашов [5] омагничивали воду и сливочную смесь мороженого слабыми (до 140 кА/м) полями. Установлено сокращение продолжительности процесса кристаллизации на 10–30 %.

В статье описывается попытка совершенствования процесса получения крахмала использованием аналогичных воздействий на картофельную кашку.

МЕТОДЫ

Для решения вопросов о рациональных режимах воздействия магнитного поля на доброкачественность извлеченного крахмала, а также его белизну (при известных заданных режимах ультразвуковой обработки [6]), проводили исследования, используя теорию планирования эксперимента.

В соответствии с известными рекомендациями при проведении эксперимента искали зависимости доброкачественности извлеченного крахмала (Y_1), а также его белизны (Y_2) , принятых в качестве функций отклика, от варьируемых параметров: X_1 – времени обработки и X_2 – индукции магнитного поля, в виде:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2.$$

Нормированные факторы X_1 и X_2, учитывая имеющиеся в литературе данные, записывали в виде

$$X_1 = (\tau - 180)/85;$$
$$X_2 = (B - 125)/46;$$

где τ – время обработки в постоянном магнитном поле, [сек];

B – магнитная индукция поля, [мТл].

Обеспеченная высоким качеством примененных неодимовых магнитов, высокая точность поддержания выбранных факторов на заданных уровнях, выявленная в ходе постановочных исследований, позволила для дублирования экспериментальных данных ограничиться тремя параллельными опытами.

При помощи таблицы случайных чисел последовательность проводимых опытов была рандомизирована для устранения влияния случайных погрешностей. Матрицы планирования эксперимента записывали в виде таблиц 1 и 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После испытания образцов в определенном порядке результаты заносились в столбцы, отведенные для функций отклика:

Y_1 – доброкачественность извлеченного крахмала (*Д₆*), Y_2 – белизна крахмала (γ).

Для получения статистически достоверной математической модели проверяли воспроизводимость эксперимента в виде однородности дисперсий выборок функций отклика Y_1 и Y_2. Для этой цели вычислялось значение критерия Фишера по формуле:

$$F_p = \frac{max\{s_{yi}^2\}}{min\{s_{yi}^2\}}.$$

Для данных таблиц 1 и 2 это значение оказалось равным 4,0, что меньше табличного значения, равного 9,28 для доверительной вероятности 95 %.

Выявленное соотношение между расчетным и табличным значениями критерия Фишера свидетельствует о воспроизводимости эксперимента и дает основание коэффициенты модели вычислить по формулам:

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^{M} \bar{Y}_j}{M}, \qquad a_j = \frac{\sum_{j=1}^{M} \bar{Y}_j X_j}{M},$$

где X_j – столбцы элементов матрицы планирования;

Y_j – среднеарифметическое значение для каждой из функций отклика по трем параллельным опытам;

M – число разных экспериментов (M = 4).

Результаты вычислений по приведенным формулам с помощью пакета прикладных программ EXCEL для выполненного эксперимента дали следующие оценки коэффициентов уравнения регрессии для Y_j:

$$a_0 = 0{,}3943; a_1 = -0{,}0162;\ a_2 = 0{,}0124.$$

На основании этого оценку уравнения регрессии записывали в виде:

$$Y_1 = 0{,}3943 - 0{,}0162X_1 + 0{,}0124X_2.$$

Таблица 1 – Влияние основных параметров на процесс гидролиза при получении β-кератина

Table 1 - Influence of the main parameters on the hydrolysis process when obtaining β-keratin

№ опытов	№ п/п опытов	Значения нормированных факторов			Значения функции отклика Y_1		
		X_1	X_2	$X_1 X_2$	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}
1,5,9	1	1	1	1	0,3814	0,3893	0,3735
2,6,10	2	-1	1	-1	0,4081	0,4120	0,4158
3,7,11	3	1	-1	-1	0,3509	0,3586	0,3547
4,8,12	4	-1	-1	1	0,3870	0,3890	0,3910

Таблица 2 – Полный факторный эксперимент для построения модели белизны крахмала от параметров магнитной обработки

Table 2 - Complete factorial experiment for building a model of starch whiteness from the parameters of magnetic processing

№ опытов	№ п/п опытов	Значения нормированных факторов			Значения функции отклика Y_1		
		X_1	X_2	$X_1 X_2$	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}
1,5,9	1	1	1	1	3,5838	3,0756	3,3297
2,6,10	2	–1	1	–1	3,0416	3,3300	3,6183
3,7,11	3	1	–1	–1	3,3978	3,3583	3,4374
4,8,12	4	–1	–1	1	0,3870	3,2850	2,9235

Результаты вычислений по приведенным формулам с помощью пакета прикладных программ EXCEL для выполненного эксперимента дали следующие оценки коэффициентов уравнения регрессии для Y_2:

$$Y_2 = 3{,}33 + 0{,}028X_1 - 0{,}006X_2.$$

Полученные таким образом уравнения регрессии только в том случае соответствуют реальному процессу, когда их каждое слагаемое вносит вклад, значимо отличающийся от случайных колебаний функций отклика. Такое условие выполняется, если абсолютная величина коэффициента принимает значение больше, чем его доверительный интервал, определяемый при помощи критерия Стьюдента со степенью свободы:

$$f = M(k-1), \text{т. к.} |a_i| > 2\Delta a,$$

где $\Delta a = t_{1-\frac{a}{2}} \cdot S_{aij}, S_{ai} = \frac{S_y}{\sqrt{k}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{M} S_y^2}{k(M-1)}}$;

k – число параллельных опытов.

Проделанные вычисления интервалов достоверности коэффициентов уравнений регрессии свидетельствуют о том, что значимы лишь те слагаемые, для которых выполняется условие:

для $Y_1 - |a_i| \geq 0{,}011$;

для $Y_2 - |a_i| \geq 0{,}005$.

Важным шагом, предшествующим использованию полученных уравнений регрессии, является проверка их адекватности. Она позволяет судить о том, не отброшены ли в процессе обработки результатов те величины, которые существенны для достоверного воспроизведения уравнениями реального процесса и правильно ли выбрана сформированная математическая модель.

Такую проверку выполняют вычислением расчетного значения критерия Фишера и сравнением с его табличным значением. Расчетное значение критерия определяется соотношением:

$$F_P = \frac{max\{S_{a\partial}^2, S_y^2\}}{min\{S_{a\partial}^2, S_y^2\}} \text{ при } S_{ag} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{M}(y_i - y_{pi})^2}{k(M-1)}},$$

где y_p – рассчитанное по уравнениям значение функций отклика y_1 и y_2;

k – число коэффициентов в уравнении.

Пользуясь данными таблиц 1 и 2 и произведенных выше вычислений для расчетного критерия Фишера, находим F_P = 14,22. Для доверительной вероятности 95 % и соответствующих степеней свободы числителя и знаменателя табличное значение критерия Фишера в этом случае оказывается равным 12,67.

Неравенство $F_P > F$ говорит о том, что выбранная в начале эксперимента линейная математическая модель неадекватна реальной зависимости функций отклика от варьируемых в эксперименте факторов.

Одним из способов отыскания зависимости адекватной реальной является дополнение плана полного эксперимента до центрального композиционного ротатабельного плана. Матрица планирования и некоторые вспомогательные величины представлены в виде таблицы 3.

Зависимости Y_1 и Y_2 от варьируемых параметров в этом случае искали в виде:

$$f = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2.$$

Результаты вычислений по приведенным формулам с помощью пакета прикладных программ EXCEL для выполненного эксперимента дали следующие оценки коэффициентов уравнения регрессии для выбранных функций отклика:

$$Y_1 = 0{,}384 - 0{,}0169X_1 + 0{,}0089X_2 - 0{,}0031X_1^2 + 0{,}0035X_2^2 + 0{,}0009X_1X_2;$$

$$Y_2 = 3{,}392 + 0{,}028X_1 - 0{,}006X_2 - 0{,}028X_1^2 - 0{,}028X_2^2 - 0{,}028X_1X_2.$$

Для проверки адекватности полученных уравнений регрессии, как и ранее, вычисляли дисперсию адекватности.

Адекватным уравнение регрессии является в том случае, когда выполняется соотношение:

$$S_{ад}/S_y^2 < F_{табл}\ ,$$

где $F_{табл}$ – табличное значение критерия Фишера.

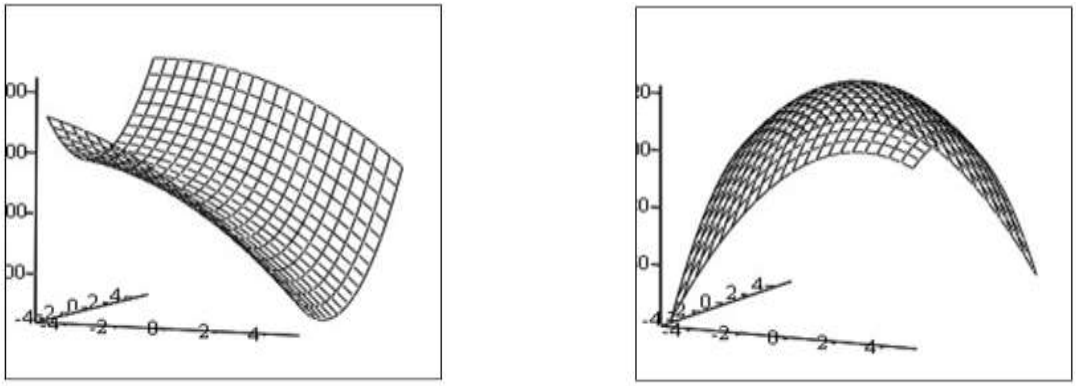
Для данных таблицы 3 уровень значимости 0,05 и соответствующие степени свободы числителя и знаменателя, подставленные в расчетное значение критерия Фишера, дали результат значительно меньше табличного.

Полученные таким образом уравнения регрессии отображают реальные зависимости функций отклика от параметров обработки крахмального молока в магнитном поле, дают основание судить о зависимости доброкачественности извлеченного крахмала (Y_1), а также его белизны (Y_2) , принятых в качестве функций отклика, от варьируемых параметров: X_1 – времени обработки и X_2 – индукции магнитного поля. Анализ полученных уравнений регрессии предварительно проведем графически, для чего построим соответствующие графики поверхностей изучаемых функций отклика. Такие графические зависимости приведены на рисунке 2.

Таблица 3 – Планирование эксперимента доброкачественности извлеченного крахмала (Y_1), а также его белизны (Y_2)

Table 3 - Design of the experiment of the good quality of the extracted starch (Y_1), as well as its whiteness (Y_2)

№ опыта	Значения нормированных факторов					Значения функции отклика Y_1		Значения функции отклика Y_2	
	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	Эксперим. Y_{1i}	Расчетные Y_{1p}	Эксперим. Y_{2i}	Расчетные Y_{2p}
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	0,3814	0,3791	3,3297	3,3300
2	–1	1	–1	1	1	0,412	0,4111	3,3300	3,3298
3	1	–1	–1	1	1	0,3547	0,3595	3,3978	3,3931
4	–1	–1	1	1	1	0,3890	0,3951	3,2850	3,2972
5	1,41	0	0	2	0	0,3584	0,3575	3,3755	3,3849
6	–1,41	0	0	2	0	0,4081	0,4054	3,2958	3,2995
7	0	1,41	0	0	2	0,4005	0,4035	3,3275	3,3162
8	0	–1,41	0	0	2	0,3854	0,3791	3,3439	3,3563
9	0	0	0	0	0	0,3840	0,384	3,3922	3,392
10	0	0	0	0	0	0,3833	0,384	3,3956	3,392
11	0	0	0	0	0	0,3846	0,384	3,888	3,392



а) б)

Рисунок 2 – Графическое изображение поверхностей отклика: а) Y_1; б) Y_2

Figure 2 - Graphic representation of response surfaces: a) Y1; b) Y2

На построенных графиках по оси ОХ отложены время обработки в магнитном поле т, а по оси ОУ – индукция магнитного поля В.

Из рисунка 2 (а) следует, что наиболее высокое значение Y_1 достигает при достаточно большом времени обработки и малых индукциях магнитного поля. При небольшом времени X = 4 аналогичное значение коэффициента Y_1 может быть достигнуто при значительных индукциях магнитного поля.

Рисунок 2 (б) говорит о том, что с точки зрения белизны процесс имеет явно выраженный экстремальный характер. Точное определение области экстремума, то есть значений изменяемых параметров, при которых достигается экстремальное значение белизны, определяется дифференцированием полученного для Y_2 уравнения с проверкой критической точки по критерию Сильвестра. Такие вычисления приводят к решению системы дифференциальных уравнений и определения знака определенным образом записанного определителя.

$$Y = \partial^2 Y/\partial^2 X_1 \cdot \partial^2 Y/\partial^2 X_2 - (\frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2})^2.$$

ВЫВОДЫ

Для функции отклика Y_1 величина такого критерия отрицательна, и поэтому экстремум отсутствует. В случае функции отклика Y_2 критерий Сильвестра положителен, а вторая производная по X_1 отрицательна. Это говорит о том, что функция Y_2 имеет экстремум в критической точке. Для его вычисления необходимо приравнять нулю первые производные и решить соответствующую систему уравнений:

$$\partial Y_2/\partial X_1 = 0 \quad \partial Y_2/\partial X_2 = 0.$$

Найденными решениями записанной системы уравнений являются X_1 = 0,71 и X_2 = –0,41, то есть оптимальные режимы процесса обработки в постоянном магнитном поле для получения крахмала максимальной белизны.

С другой стороны, для заранее заданных значений Y_1 и Y_2 могут быть подобраны величины технологических процессов, удовлетворяющие заказчика по технологическим или экономическим соображениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О ходе уборки картофеля в 2021 году – тенденции и прогнозы. URL: https://agrovesti.net/lib/industries/potatoes/o-khode-uborki-kartofelya-v-2021-godu- tendentsii-i-prognozy.html. 01.08.2021.

2. Алексеев Г.В., Леу А.Г., Юхник И.П. Совершенствование технологического оборудования для получения модифицированного крахмала // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 3–6.

3. Устройство для приготовления белково-жировой эмульсии : пат. № 2732218, Рос. Федерация № 2019127003; заявл. 27.08.2019, опубл. 02.12.2019, Бюл. № 34. 5 с.

4. Сидорова Е.А., Дандамаев Г.Ш-В. Интенсификация процесса осветления крепленого виноматериала магнитным полем. М. : ЦНИИТЭИпищепром, 1980. Вып. 5. С. 1–4.

5. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М. : Химия, 1978. 237 с.

6. Руськина А.А., Попова Н.В., Руськин Д.В. Модификация крахмала с помощью ультразвукового воздействия как инструмент изменения его технологических характеристик // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Пищевые и биотехнологии. 2018. Т. 6. № 1. С. 69–76.

7. Анализ влияния параметров ультразвуковой обработки на клейстеризующую способность картофельного крахмала / Г.В. Алексеев [и др.] // Естественные и технические науки. 2021. № 7(158). С. 241–242.

8. Егорова О.А., Бирченко А.А., Шанин В.А. Совершенствование процесса осаждения крахмала из суспензии при обработке ультразвуком // Труды XII Евразийского научного форума : Сборник статей, Санкт-Петербург, 20 декабря 2020 г. Санкт-Петербург : Университет при МПА, 2020. С. 39–48.

9. Chun-Hsiang Chan, Ri-Gui Wu, Yi-Yuan Shao. The effects of ultrasonic treatment on physicochemical properties and in vitro digestibility of semi-gelatinized high amylose maize starch // Food Hydrocolloids. Volume 119. 2021. – https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106831.

10. Wenzhe Bai Pascal, Hébraud Muthupandian Ashokkumar. Investigation on the pitting of potato starch granules during high frequency ultrasound treatment // Ultrasonics Sonochemistry. Volume 35. Part B. 2017. P. 547–555. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.022.

Информация об авторах

Г. В. Алексеев – д.т.н., профессор факультета биотехнологий Национального исследовательского университета ИТМО.

В. А. Шанин – аспирант факультета биотехнологий Национального исследовательского университета ИТМО.

А. Г. Леу – аспирант факультета биотехнологий Национального исследовательского университета ИТМО.

А. А. Бирченко – аспирант факультета биотехнологий Национального исследовательского университета ИТМО.

REFERENCES

1. On the progress of the potato harvest in 2021 - trends and forecasts. https://agrovesti.net/lib/ industries/potatoes/o-khode-uborki-kartofelya-v-2021-godu-tendentsii-i-prognozy. html. 08/01/2021. (In Russ.).

2. Alekseev, G.V., Leu, A.G. & Yukhnik, I.P. (2020). Improvement of technological equipment for obtaining modified starch. *Polzunovsky Bulletin,* (2), 3-6. (In Russ.).

3. Raspopov, D.S., Leu, A.G., Bezgin, M.V., Verboloz, M.V., Romanchikov, S.A. & Shangutov, A.O. (2019). Device for preparation of protein-fat emulsion: Pat. 2732218 Rus. Federation, published on 02.12.2019.

4. Sidorova, E.A. & Dandamaev, G.Sh-V. (1980). Intensification of the process of clarifying the fortified-wine material with a magnetic field, M., Central Research Institute of Information and Technical and Economic Research. (In Russ.).

5. Klassen, V.I. (1978). Magnetization of water systems, M., Chemistry. (In Russ.).

6. Ruskina, A.A., Popova, N.V. & Ruskin, D.V. (2018). Modification of starch using ultrasonic exposure as a tool for changing its technological characteristics*. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, (8), 69-76. (In Russ.).

7. Alekseev, G.V. et al. (2021). Analysis of the influence of ultrasonic treatment parameters on the gelatinizing ability of potato. *Natural and technical sciences,* (7), 241-242. (In Russ.).

8. Egorova, O.A., Birchenko, A.A. & Shanin, V.A. Improvement of the process of precipitation of starch from suspension during treatment with ultrasound. *Proceedings of the XII Eurasian Scientific Forum: Collection of articles* University at IPA, St. Petersburg. (In Russ.).

9. Chan, C.-H., Wu, R.-G. & Shao, Y.-Y. (2021). The effects of ultrasonic treatment on physicochemical properties and in vitro digestibility of semigelatinized high amylose maize starch. *Food Hydrocolloids,* (119) https: //doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106831.

10. Bai, W., Hébraud, P. & Ashokkumar, M. (2017). Investigation on the pitting of potato starch granules during high frequency ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, (35), Part B, 547-555. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.022.

Information about the authors

G. V. Alekseev - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO.

V. A. Shanin - postgraduate student of the Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO.

A. G. Leu - postgraduate student of the Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO.

A. A. Birchenko - postgraduate student of the Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO.

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

Статья поступила в редакцию 06.10.2021; одобрена после рецензирования 14.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 6 Oct 21; approved after reviewing on 14 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 123–128.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 123–128.

Научная статья
05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 661.961.621
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.021

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ПАРОВАЯ КОНВЕРСИЯ МЕТАНОЛА В МИКРОКАНАЛЬНОМ РЕАКТОРЕ

Дмитрий Валерьевич Андреев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук», Новосибирск, Россия
andreev@catalysis.ru, https://orcid.org/0000-0002-7904-2654

Аннотация. *Для решения задач создания автономного топливного процессора сконструирован микроканальный реактор для получения водорода, характеризующийся высокими значениями тепло- и массопереноса. Микроканальный реактор состоит из металлических микроканальных пластин с каналами субмиллиметрового размера с нанесённым на них оксидным катализатором состава* Zn/TiO_2*. Микроканальный реактор испытан в процессе окислительной паровой конверсии метанола. Исходная реакционная смесь состояла из водного раствора метанола (мольное отношение 1:1) и газообразного кислорода. Исследованы тепловые характеристики работы микроканального реактора в реакции окислительной паровой конверсии метанола при температуре 400 °С и при различном мольном соотношении кислорода к водно-метанольной смеси. Показано, что добавление газообразного кислорода в исходную реакционную смесь существенно снижает мощность внешнего источника тепла, необходимую для поддержания рабочей температуры микроканального реактора, максимальное снижение составляет от 58 до 70 % в зависимости от величины входного потока водно-метанольной смеси и кислорода. Анализ состава водородсодержащего газа на выходе из микроканального реактора показал, что по мере увеличения соотношения кислорода к водно-метанольной смеси растёт концентрация моноксида углерода на выходе, не превышая значений 5–8 об. %. Вместе с этим величина выхода водорода стабильна в широком диапазоне входного потока кислорода и составляет 5,7–5,9 мл/сек, начиная снижаться лишь при максимальных потоках. Расчёт теплового коэффициента полезного действия микроканального реактора показал, что эта величина растёт с увеличением входного потока кислорода, достигая 47 % при максимальной его величине.*

Ключевые слова: *топливный процессор, микроканальный каталитический реактор, микроканальные каталитические пластины, метанол, окислительная паровая конверсия, водород, моноксид углерода, катализатор, тепловой баланс, КПД реактора.*

Благодарности: *Работа выполнена в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект 0239-2021-0008).*

Для цитирования: Андреев, Д. В. Окислительная паровая конверсия метанола в микроканальном реакторе // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 123–128. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.021.

© Андреев, Д. В., 2021

Original article

OXIDATIVE METHANOL STEAM REFORMING IN MICROCHANNEL REACTOR

Dmitry V. Andreev

Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center" Institute of Catalysis named after G.K. Boreskov Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences ", Novosibirsk, Russia
andreev@catalysis.ru, https://orcid.org/0000-0002-7904-2654

Abstract. *A microchannel reactor for hydrogen production has been developed, characterized by high values of heat and mass transfer for solving problems of creating an autonomous fuel processor. The microchannel reactor consists of metal microchannel plates with submillimeter-sized channels coated with an oxide catalyst of the Zn/TiO_2 composition. The microchannel reactor was tested in the process of oxidative steam reforming of methanol. The initial reaction mixture consisted of an aqueous solution of methanol (molar ratio 1:1) and oxygen gas. The thermal characteristics of the operation of the microchannel reactor in the reaction of oxidative steam reforming of methanol at a temperature of 400 °C and at different molar ratios of oxygen to a water-methanol mixture have been investigated. It is shown that the addition of gaseous oxygen to the initial reaction mixture significantly reduces the power of the external heat source required to maintain the operating temperature of the microchannel reactor, the maximum decrease is from 58 to 70%, depending on the input flow of the water-methanol mixture and oxygen. Analysis of the composition of the hydrogen-containing gas at the outlet of the microchannel reactor showed that as the ratio of oxygen to the water-methanol mixture increases, the concentration of carbon monoxide at the outlet increases, not exceeding values of 5-8 vol. %. At the same time, the value of the hydrogen output is stable in a wide range of the input oxygen flow and is 5.7-5.9 ml/sec, starting to decrease only at maximum flows. Calculation of the thermal efficiency of the microchannel reactor showed that this value increases with an increase in the input oxygen flow, reaching 47% at its maximum value.*

Keywords: *fuel processor, microchannel catalytic reactor, microchannel catalytic plates, methanol, oxidative steam reforming, hydrogen, carbon monoxide, heat balance, reactor efficiency.*

Acknowledgements: *This work was performed as part of a State Task for the Boreskov Institute of Catalysis; project 0239-2021-0008.*

For citation: Andreev, D. V. (2021). Oxidative methanol steam reforming in microchannel reactor. *Polzunovskiy vestnik,* 4, 123-128. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.021.

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильные выбросы являются главным источником загрязнения воздуха в крупных городах. Альтернативой транспорту с двигателями внутреннего сгорания могут стать электромобили с топливными элементами (ТЭ) в качестве источника электрического тока. Топливом для ТЭ с протонобменными мембранами является водород или водородсодержащий газ, получаемый в топливных процессорах. Реакция каталитической паровой конверсии метанола (ПКМ) (1) является перспективной для получения водорода в таких процессорах [1]:

$$CH_3OH + H_2O = CO_2 + 3H_2$$
$$\Delta_r H^0_{298} = +49{,}5 \text{ кДж/моль.} \qquad (1)$$

Однако этот процесс является эндотермическим, а, следовательно, для того чтобы его осуществлять, нужен внешний источник тепла, что неэффективно, а часто и невозможно в автономном условиях, например, на борту электромобиля. Решением этой проблемы может стать получение водородсодержащего газа путём окислительной паровой конверсии метанола, т.е. сочетанием ПКМ и реакции окисления метанола:

$$CH_3OH + 3/2O_2 = CO_2 + 2H_2O$$
$$\Delta_r H^0_{298} = -674{,}0 \text{ кДж/моль.} \qquad (2)$$

Комбинацией реакций (1) и (2) можно снизить или совсем убрать тепловые затраты на поддержание температуры реактора для получения водорода без существенного снижения производительности.

Побочной реакцией в процессе ПКМ и ОПКМ является обратная реакция сдвига водяного газа:

$$CO_2 + 3H_2 = CO + H_2O,$$
$$\Delta_r H^0_{298} = 41{,}2 \text{ кДж/моль}. \quad (3)$$

Брутто-уравнение комбинированного процесса окислительной паровой конверсии метанола (ОПКМ) можно записать следующим образом, суммируя уравнения (1) и (2):

$$(1+n)CH_3OH + n3/2O_2 = (n+1)CO_2 + 3H_2 + (2n-1)H_2O, \quad (4)$$

а его тепловой эффект будет равен:

$$\Delta_r H^0_{298} = 49{,}5 + n\cdot(-674) \text{ кДж/моль}. \quad (5)$$

Таким образом, при n = 0,073 тепловой эффект реакции (4) будет равен нулю. Варьирование количества кислорода, подаваемого в реактор, позволяет менять его тепловой баланс и даёт возможность снизить мощность и даже отказаться от внешнего источника тепла для проведения процесса ОПКМ [2].

Микроканальные реакторы имеют большую перспективу использования получения водорода в процессах ПКМ и ОПКМ. Малые размеры каналов и высокая теплопроводность металлических микроканальных пластин обеспечивают высокие значения массо- и теплопереноса, способствуют повышению степени использования катализатора и минимизируют потери тепла во внешнюю среду [3–5].

В настоящей работе проведено исследование процесса каталитической окислительной паровой конверсии метанола в микроканальном реакторе (МКР) с подачей кислорода в зону реакции.

МЕТОДЫ

Реакцию каталитической окислительной паровой конверсии метанола проводили в микроканальном реакторе МКР, который состоял из трёх микроканальных (МК) пластин, которые были изготовлены из пеномеди с исходными размерами 50×20 мм и толщиной 1 мм. МК пластины пропитывали суспензией катализатора Zn/TiO_2 в гексане. После сушки пластины прессовали на специальной пресс-форме, в результате получались МК пластины с восемью каналами сечением 1×0,5 мм и длиной 50 мм с запрессованным катализатором. Более подробно методика приготовления катализатора Zn/TiO_2 и МК пластин из пенометалла описана в работе [5]. В итоге масса катализатора на трёх МК пластинах составила 1,08 г.

МК реактор (рисунок 1) представляет из себя металлический корпус с внутренними размерами: длина 60, ширина 30 и высота 3 мм. Внутри реактора две продольных перегородки делят его на три части: в центре помещаются МК пластины с катализатором, по краям идут два канала для подачи водно-метанольной смеси (*1*) и кислорода (*2*). В зоне *3* происходит смешение исходных реагентов, и продукты реакции покидают реактор через выход *4*.

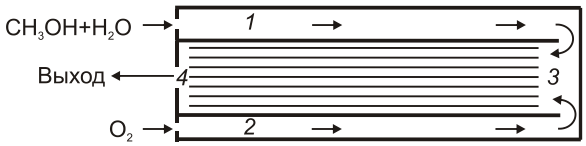


Рисунок 1 – Схема движения потоков реагентов внутри МК реактора

Figure 1 - Scheme of the flow of reagents inside the MC reactor

Схема экспериментальной установки для проведения процесса ОПКМ представлена на рисунке 2. Микроканальный реактор помещали в трубчатую печь, температуру которой регулировали и поддерживали с точностью ±1 ºС с помощью автоматического ПИД регулятора температуры Термодат 13КТ2 (Россия). Мощность нагревателя печи варьировалась в диапазоне 0–150 Вт. Температуру регистрировали при помощи хромель-алюмелевой термопары, размещённой внутри реактора. Смесь метанола и воды в мольном соотношении 1:1 (концентрация метанола в смеси составляла 17,7 ммоль/мл) подавали в реактор с помощью шприцевого дозатора (Sensitec, Польша) через испаритель, нагреваемый до 200 ºС. Скорость подачи исходной водно-метанольной смеси варьировали в диапазоне 0,15÷0,5 мл/мин, что соответствовало мольному потоку метанола F_{MeOH} в диапазоне 2,7÷9 ммоль/мин. Кислород подавали в реактор с помощью регулятора расхода газа (РРГ-12-1800, Россия), скорость подачи варьировали в диапазоне 7÷100 мл/мин. На выходе из реактора газовый поток проходил через сепаратор, где он охлаждался до комнатной температуры и конденсации жидкой фазы. Затем газовый поток направлялся в хроматограф для анализа.

Анализ продуктов реакции проводили на

газовом хроматографе Кристалл-2000 (Россия), для определения H_2 и CO использовали колонку с цеолитом CaA, а для определения CO_2 – колонку с Porapaq Q (газ-носитель аргон, температура колонок комнатная). Объёмную скорость потока из реактора регистрировали с помощью пенного измерителя потока.

Схема эксперимента заключалась в следующем. Реактор разогревали до рабочей температуры 400 ºС, подавали в него фиксированный поток водно-метанольной смеси, мощность нагревателя P_{H0} устанавливали на таком уровне, чтобы температура в работающем микрореакторе составляла 400 ºС. Затем измеряли состав и скорость выходного газового потока. После этого подавали в микрореактор поток кислорода с заданной объёмной скоростью, при этом понижая мощность нагревателя так, чтобы температура микрореактора оставалась равной 400 ºС. После этого опять измеряли состав и скорость выходного газового потока.

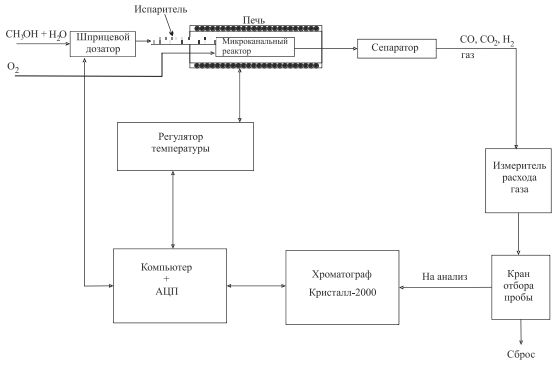


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

Figure 2 - Diagram of the experimental setup

Выходной поток водорода рассчитывали по формуле:

$$Y_{H2} = V_{вых} \cdot [H_2], \qquad (6)$$

где $V_{вых}$ – объёмная скорость газового потока на выходе из реактора (мл/мин), $[H_2]$ – объёмная доля водорода в выходном газовом потоке.

Мольный поток кислорода F_{O2} (ммоль/мин) и коэффициент n в уравнении (4) рассчитывали как:

$$F_{O2} = \frac{V_{O2}}{24,5\ мл/ммоль} \qquad (7)$$

$$n = \frac{F_{O2}}{F_{O2} + F_{MeOH}}, \qquad (8)$$

где V_{O2} – объёмная скорость подачи кислорода, мл/мин, 24,5 мл/ммоль – объём, занимаемый одним миллимолем газа при 25 ºС.

Тепловую мощность P_r (Вт), выделяемую в ходе реакции (4), рассчитывали, используя формулу (5):

$$P_r = \frac{F_{MeOH} \cdot (674 \cdot n - 49,5)}{60}, \qquad (9)$$

где F_{MeOH} – мольный поток метанола (ммоль/мин).

ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 3 показана зависимость тепловой мощности нагревателя P_H, необходимой для поддержания температуры реактора на уровне 400 ºС, а также суммы тепловой мощности нагревателя и мощности, выделяемой в ходе реакции (4) от величины входного объёмного потока кислорода при постоянном входном потоке метанола (F_{MeOH} = 2,7÷9 ммоль/мин).

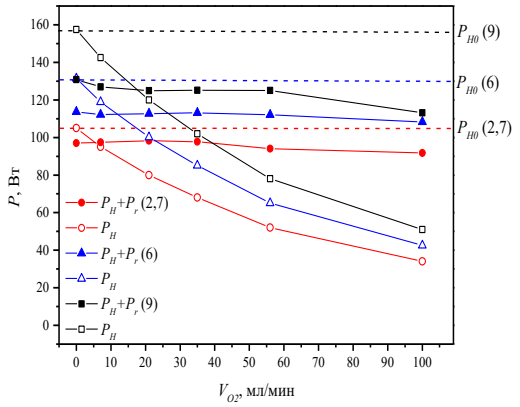


Рисунок 3 – Зависимость мощности нагревателя P_H, необходимой для поддержания температуры реактора на уровне 400 ºС, а также величины $P_H + P_r$ от V_{O2}. Пунктиром обозначена начальная мощность нагревателя P_{H0}. В скобках указана величина F_{MeOH}, ммоль/мин

Figure 3 - Dependence of the heater power P_H required to maintain the reactor temperature at a level of 400 ºC, as well as the $P_H + P_r$ value on V_{O2}. The dotted line denotes the initial power of the P_{H0} heater. The F_{MeOH} value is indicated in brackets, mmol/min

Видно, что с увеличением входного потока кислорода необходимая мощность внешнего нагревателя P_H существенно уменьшается, при этом растёт величина тепловой мощности P_r, которая замещает поток

тепла от внешнего источника, что видно по зависимости суммы величин P_H и P_r от V_{O2} – она почти постоянна во всём диапазоне величин V_{O2}.

Увеличение входного потока метанола приводит к увеличению величины P_{H0}, которая компенсирует возросший эндотермический эффект реакции ПКМ. Интересно, что суммарная мощность внешнего источника тепла и тепла, выделяемого в ходе реакции (4), оказывается меньше, чем начальная мощность P_{H0}, что говорит о том, что внутренний нагрев реакционной зоны за счёт реакции ОПКМ является более эффективным, чем внешний нагрев.

Измерение состава газа на выходе показало, что основными газообразными продуктами реакции являются водород, моноксид и диоксид углерода и незначительное количество метана, которое не превышает 0,5 % во всём диапазоне входных потоков водно-метанольной смеси и кислорода.

Важным показателем процесса получения водородсодержащего газа для питания ТЭ является уровень CO на выходе из реактора. Для ТЭ с протонобменными мембранами на основе Нафиона (PEMFC) этот уровень не должен превышать 20 ppm, поэтому в дополнение к реактору ПКМ на выходе из него устанавливают реакторы паровой конверсии CO и селективного окисления («дожигания») CO [6]. В последнее время появились публикации о разработке ТЭ на основе мембран из полибензимидазола, допированных фосфорной кислотой (PAFC), которые могут стабильно работать при концентрации CO 1–3 % [7]. На рисунке 4 приведены зависимости концентрации CO на выходе из реактора ОПКМ от объёмной скорости кислорода на входе.

Видно, что с увеличением подачи кислорода уровень моноксида углерода растёт, достигая 5–7 % при максимальном потоке кислорода. Однако при средних значениях V_{O2} он остаётся довольно низким и удовлетворяет требованиям для работы ТЭ (PAFC).

Параметры процесса ОПКМ при 400 ºC и входном потоке метанола F_{MeOH} = 6 ммоль/мин приведены в таблице 1.

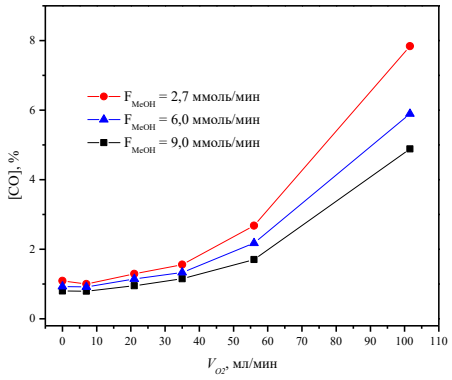


Рисунок 4 – Зависимости концентрации CO на выходе из реактора ОПКМ от V_{O2} при различных величинах подачи метанола

Figure 4 - Dependences of CO concentration at the outlet of the OPKM reactor on V_{O2} at different values of methanol supply

Таблица 1 – Параметры процесса ОПКМ при температуре 400 ºC и входном потоке метанола F_{MeOH} = 6 ммоль/мин

Table 1 - Parameters of the OPKM process at a temperature of 400 ºC and an input flow of methanol FMeOH = 6 mmol/min

V_{O2}, мл/мин	n	$\Delta_r H_{298}$, кДж/моль	P_r, Вт	P_H, Вт	$[H_2]$ на выходе, %	Y_{H2}, мл/сек	КПД, %
0	0	49,5	–17,8	131	73,2	5,85	–
21	0,13	–34,8	12,5	100	71,1	5,8	19,6
56	0,28	–136	49,1	65	65,3	5,69	42,6
100	0,4	–223	80,4	43	42,1	3,65	46,8

Видно, что концентрация водорода и его выход стабильны в диапазоне скоростей подачи кислорода от 0 до 56 мл/сек.

В последней строке таблицы приведён рассчитанный КПД реактора ОПКМ в случае, когда он может быть использован совместно с ТЭ. В первом приближении он равен:

$$КПД = 100\% \frac{(Y_{H2} \cdot 241,8 / 24,5 - P_H)}{Y_{H2} \cdot 241,8 / 24,5}, \qquad (10)$$

где (Y_{H2}·241,8 кДж/моль) – тепловая мощность, выделяемая в ходе реакции окисления в ТЭ водорода, полученного в процессе ОПКМ, 24,5 мл/ммоль – объём, занимаемый одним миллимолем газа при 25 ºC. Достигнутые значения в 40–45 % являются перспек-

тивными для применения реакторов ОПКМ в автономных устройствах с ТЭ для получения электрической энергии.

ВЫВОДЫ

Изучение процесса окислительной паровой конверсии метанола для получения водорода в каталитическом микроканальном реакторе показало, что добавление кислорода в исходную реакционную смесь существенно снижает мощность внешнего источника тепла, необходимую для поддержания рабочей температуры микроканального реактора, максимальное снижение составляет от 58 до 70 % в зависимости от величины входного потока водно-метанольной смеси и кислорода.

Анализ состава водородсодержащего газа на выходе из реактора показал, что концентрация моноксида углерода находится в диапазоне 1–3 об. % в широком интервале входных потоков кислорода, что является приемлемым уровнем для работы высокотемпературных ТЭ. Величина выхода водорода стабильна в широком диапазоне входных потоков кислорода.

Расчёт теплового КПД микроканального реактора показал, что эта величина растёт с увеличение входного потока кислорода и достигает значений 47 % при входном потоке метанола 6 ммоль/мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Lindström, B., Agrell, J. & Pettersson, L.J. (2003). Combined methanol reforming for hydrogen generation over monolithic catalysts. *Chem. Eng. J.*, (93), 91-101. DOI: 10.1016/S1385-8947(02)00112-2.

2. Shah, K., Ouyang, X. & Besser, R.S. (2005). Microreaction for microfuel processing: challenges and prospects. *Chem. Eng. Technol.*, (28), 303-315. DOI: 10.1002/ceat.200407140.

3. Ehrfeld, W., Hessel, V. & Loewe, H. (2000). Microreactors-new technology for modern chemistry. Weinheim: Willey-VCH.

4. Makarshin, L.L. (2018). Combined microchannel reactor for partial oxidation of methane. *Polzunovskiy vestnik* (4). 100-105. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.020.

5. Andreev, D.V. & Sergeev, E.E. (2021). Methanol Steam Reforming on Cd–Zn/TiO_2 and Cu–Zn/TiO_2 Catalysts in a Microchannel Reactor. *Catalysis in Industry*, (13), 150-160. DOI: 10.1134/s2070050421020021.

6. Bobrova, L., Andreev, D., Ivanov, E., Mezentseva, N., Simonov, M., Makarshin, L., Gribovskiy, A. & Sadykov, V. (2017). Water-Gas Shift Reaction over Ni/CeO_2 Catalysts. Catalysts, (7), 1-24. DOI: doi:10.3390/catal7100310.

7. Boaventura, M., Alves, I. & Ribeirinha, P., Mendes, A. (2016). The influence of impurities in high temperature polymer electrolyte membrane fuel cells performance. *Int. J. Hydrogen Energy*, (41), 19771-19780. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.06.201.

Информация об авторе

Д. В. Андреев – кандидат химических наук, старший научный сотрудник НТК по разработке каталитических процессов синтеза элементоорганических соединений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (ИК СО РАН).

Information about the author

D. V. Andreev - Candidate of Chemical Sciences, senior researcher of Laboratory of Catalytic Processes of Elementoorganic Compounds in the Boreskov Institute of Catalysis.

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

Статья поступила в редакцию 06.10.2021; одобрена после рецензирования 15.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 6 Oct 21; approved after reviewing on 15 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 129–139.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 129–139.

РАЗДЕЛ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Обзорная статья
05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
УДК 53.097:54-116
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.017

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ ЧАСТЬ 1

Дмитрий Валерьевич Комаров [1], Сергей Валерьевич Коновалов [2], Дмитрий Владимирович Жуков [3], Илья Сергеевич Виноградов [4], Ирина Алексеевна Панченко [5]

[1, 2, 3] Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Самара, Россия
[1, 3, 4] Инженерно-технический центр-филиал ООО «Газпром трансгаз Самара», Самара, Россия
[5] Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия
[1] komarov_dimitriy@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2003-2021
[2] ksv@ssau.ru, https://orcid.org/0000-0003-4809-8660
[3] dzetii@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3709-1415
[4] I.Vinogradov@samaratransgaz.gazprom.ru, https://orcid.org/0000-0003-2011-9781
[5] i.r.i.ss@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1631-9644

Аннотация. *Продление ресурса металлических деталей и конструкций, а также обеспечение надежности и безопасности их работы неразрывно связано с технологиями, применяемыми на стадии изготовления. Предъявляемые сегодня требования к новым изделиям как со стороны эксплуатации, так и с точки зрения экологичности и экономичности их производства, не позволяют решать поставленные задачи с использованием только традиционных технологий. В этом аспекте развитие физического материаловедения в последние годы стало возможным благодаря выходу на новый уровень возможностей электронно-лучевых установок, применяемых для упрочнения поверхности изделий из различных сплавов электронно-пучковой обработкой (ЭПО).*

В статье выполнен анализ исследовательских работ в области применения электронных пучков как самостоятельного способа обработки, так и в составе с другими технологиями, позволяющими модифицировать поверхностные слои металлических деталей и изделий с целью улучшения их механических и эксплуатационных свойств. В первой части работы указаны основные преимущества ЭПО перед другими технологиями, в основе которых лежат концентрированные потоки энергии. Отмечена невысокая точность существующих математических моделей, предназначенных для аналитической оценки теплового поля поверхностных слоев металлических многокомпонентных сплавов, обрабатываемых электронными пучками, что требует проведения длительных и дорогостоящих исследований влияния режимов облучения на физико-химическое состояние материала. Выполнен анализ трудов авторских коллективов из РФ за последние 10 лет, посвященные ЭПО поверхностных слоев сталей, титановых и алюминиевых сплавов с применением классической термообработки или без нее. Анализ показал, что метод применим для обработки широкой номенклатуры металлических материалов и позволяет после применения существенно повысить механические и усталостные характеристики обрабатываемых изделий.

Ключевые слова: *высокоэнтропийные сплавы, традиционные сплавы, микроструктура, электронно-пучковая обработка (ЭПО), механические свойства.*

Благодарности: *Исследование выполнено в рамках конкурса Минобрнауки на создание новых молодежных лабораторий «Научно-исследовательская лаборатория ЭМиОИ».*

Для цитирования: *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.2072-8921.2021.04.017.

© Комаров, Д. В., Коновалов, С. В., Жуков, Д. В., Виноградов, И. С., Панченко, И. А., 2021

Original article

ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION IN THE FIELD OF APPLICATION OF ELECTRON-BEAM PROCESSING OF VARIOUS ALLOYS. PART 1

Dmitrij V. Komarov [1], Sergej V. Konovalov [2], Dmitrij V. Zhukov [3], Il'ya S. Vinogradov [4], Irina A. Panchenko [5]

[1, 2, 3] Samara National Research University, Samara, Russia
[1, 3, 4] Engineering and technical center-branch of Gazprom transgaz Samara LLC, Samara, Russia
[5] Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia
[1] komarov_dimitriy@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2003-2021
[2] ksv@ssau.ru, https://orcid.org/0000-0003-4809-8660
[3] dzetii@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3709-1415
[4] I.Vinogradov@samaratransgaz.gazprom.ru, https://orcid.org/0000-0003-2011-9781
[5] i.r.i.ss@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1631-9644

Abstract. *Extension of the service life of metal parts and structures, as well as ensuring the reliability and safety of their work, is inextricably linked with the technologies used at the manufacturing stage. The requirements imposed today on new products, both from the side of operation and from the point of view of environmental friendliness and economic efficiency of their production, do not allow solving the assigned tasks using only traditional technologies. In this aspect, the development of physical materials science in recent years has become possible due to the achievement of a new level of capabilities of electron-beam installations used to harden the surface of products from various alloys by electron-beam processing (EBP).*

In the article, in two parts, the analysis of research work in the field of application of electron beams is carried out, both as an independent method of processing, and in combination with other technologies that allow modifying the surface layers of metal parts and products in order to improve their mechanical and operational properties. In the first part of the work, the main advantages of EBP over other technologies based on concentrated energy flows are indicated. The low accuracy of the existing mathematical models intended for the analytical assessment of the thermal field of the surface layers of metal multicomponent alloys processed by electron beams is noted, which requires long-term and expensive studies of the effect of irradiation modes on the physicochemical state of the material. The analysis of the works of authors' teams from the Russian Federation for the last 10 years, devoted to the EBP of the surface layers of steels, titanium and aluminum alloys with the use of classical heat treatment or without it, has been carried out. The analysis showed that the method is applicable for processing a wide range of metallic materials and allows, after application, to significantly increase the mechanical and fatigue characteristics of the processed products.

Keywords**:** *high-entropy alloys, traditional alloys, microstructure, electron-beam processing (EBP), mechanical properties.*

Acknowledgments: *The research was carried out within the framework of the competition of the Ministry of Education and Science for the creation of new youth laboratories "Research Laboratory of EMiOI".*

For citation: 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.

ВВЕДЕНИЕ

В отличие от физических и физико-химических свойств металлических материалов, определяемых в основном их природой и слабо зависящих от микроструктуры (кроме ферромагнетиков), механические свойства являются структурно-чувствительными. Поэтому модификация микроструктуры металлов и сплавов неизбежно приводит к эволюции всего комплекса их механических харак-

теристик, а также к изменению эксплуатационных свойств.

Уже долгие годы одним из исследуемых направлений повышения технологических и эксплуатационных параметров металлических деталей и изделий является применение технологий упрочнения их поверхностных слоев, основанных на создании в этих областях сопротивления движущимся под действием внешних напряжений дислокациям. К традиционным технологиям данного направления относятся легирование, рафинирование, термическая и механическая обработки. Кроме того, в материаловедении широко изучена и технология химико-термической обработки, применяемая для изменения химического и фазового состава, структуры и свойств поверхностных слоев металлов и сплавов.

Однако постоянная потребность в новых материалах, обусловленная усложнением создаваемой техники, стремлением получить для нее более высокие параметры и коэффициент полезного действия (КПД), необходимостью повышения надежности и безопасности ее работы, а также ростом требований по снижению материалоемкости и экологичности процессов изготовления деталей и изделий, зачастую не может быть реализована за счет традиционных технологий.

Решение задач по обеспечению необходимого комплекса эксплуатационных свойств, предъявляемых к новым деталям и изделиям, стало возможным за счет развития области нетрадиционных способов обработки металлических материалов с применением радиационно-пучковых технологий (РПТ). Сегодня к РПТ принято относить ионно-пучковые, плазменные и ионно-плазменные технологии, а также методы обработки, основанные на использовании концентрированных потоков энергии. В основе их использования лежит применение тепловой, кинетической, электрической и магнитной составляющих энергии, а также различные способы ее подвода к обрабатываемому твердому телу (мишени): непрерывный, импульсный, импульсно-периодический, точечный, линейный, поверхностный, квазиобъемный.

В зависимости от параметров радиационного воздействия использование РПТ позволяет получать различные структурно-фазовые изменения материалов, основными из которых являются [1]:

- увеличение параметра кристаллической решетки;
- разворот плоскостей упаковки атомов;
- образование аморфной и ультрадисперсной фаз;
- накопление радиационных дефектов;
- диспергирование микроструктуры;
- создание пересыщенных твердых растворов;
- образование слоистых структур;
- расслоение твердых растворов, упорядочивание;
- образование градиентных структурно-фазовых состояний и др.

Подробное рассмотрение каждой из РПТ, а также описание сопровождающих их физических процессов, благодаря которым происходит модифицирующее воздействие обрабатываемых материалов, является объемной задачей. В настоящей статье подробно будет обсуждаться только технология, основанная на использование концентрированных потоков энергии (КПЭ), а именно электронно-пучковая обработка (ЭПО).

Сущность процесса ЭПО заключается в преобразовании кинетической энергии потока электронов, сформированных в вакууме, в тепловую энергию в зоне взаимодействия с обрабатываемым твердым телом.

Основными преимуществами указанного метода перед другими технологиями КПЭ являются: высокий контроль и регулирование количества подводимой к мишени энергии, создание большой площади воздействия концентрированного потока энергии на обрабатываемый материал, малые коэффициенты отражения энергии, высокая концентрация энергии в единице объема, что позволяет в широком диапазоне варьировать температуру в области взаимодействия электронного пучка и мишени для перевода обрабатываемого материала в высоконеравновесное состояние [1–3].

Наиболее развиваемыми направлениями технологического применения электронных пучков в настоящее время являются:

- размерная обработка и резка изделий [4–7];
- электронно-лучевая сварка [7–11];
- электронно-лучевая плавка различных материалов, наплавка и ликвидация покрытий [12–14];
- модифицирующая обработка поверхности слоев материала мишеней [15–17].

Целью настоящей статьи является описание результатов исследований, выполненных по последнему из указанных выше направлений.

Необходимо отметить, что использование ЭПО для модификации поверхностных слоев различных металлов и сплавов за последние тридцать лет широко исследовалось как в нашей стране, так и за рубежом. Однако при этом работа в этом направлении до сих

пор является перспективной. Это обусловлено высокой эффективностью метода при получении новых уникальных физико-механических свойств обрабатываемых материалов, а, как следствие, формирование требуемых эксплуатационных свойств при обработке твердых тел, изготовленных из металлов и сплавов. Данный аспект был подтвержден в ходе многочисленных исследований и более подробно будет рассмотрен в статье. Кроме того, на сегодняшний момент отсутствует общая физическая модель, которая могла бы полностью охватить взаимодействие электронного пучка с твердым телом в зависимости от параметров излучения и свойств облучаемого материала.

Взаимодействие между ускоренными электронами и материалом мишени является сложным процессом. Как правило, одним из основных его результатов представляет собой изменение теплового поля в приповерхностных слоях обрабатываемого твердого тела, которое может сопровождаться нагревом, плавлением, испарением и структурно-фазовыми превращениями материала в зависимости от его свойств и условий обработки.

С одной стороны, расчетные оценки изменения температуры в отдельных точках мишени со временем при ее нагреве и последующем охлаждении позволяют прогнозировать возможное изменение состава материала, его структурно-фазовое состояние после обработки, и, как следствие, в первом приближении подбирать требуемые режимы работы установки (плотность энергии в электронном пучке, время воздействия, энергия электронов и т.д.).

С другой стороны, необходимо понимать, что существующие математические модели расчета пространственно-временных характеристик теплового поля имеют целый ряд допущений. К ним можно отнести: пренебрежение потерями теплоты посредством конвекции и лучеиспускания, принятие материала мишени изотропным, а источника теплоты поверхностным, признание несущественной разницы между значениями температуры и ее производными (скорости нагрева и охлаждения, пространственные градиенты) и др. Учет же указанных характеристик требует решать задачи о нагреве твердых тел при помощи нелинейных математических моделей. Как правило, они не дают точного результата, температура в таких случаях может быть определена только методами численного решения или приближенными аналитическими методами.

Еще более сложной задачей является аналитическая оценка механических и эксплуатационных свойств материала после его упрочнения электронным пучком. Так, например, при импульсной ЭПО поверхности металлов и сплавов со средней плотностью пучка 10^5–10^9 Вт/см^2 упрочнение происходит по двум механизмам: поверхностному (за счет быстрой закалки) и подповерхностному (объемному) под действием волновых напряжений [1]. За счет быстрого нагрева и охлаждения поверхности мишени изменяется структурно-фазовое состояние, а вследствие ударно-волнового воздействия трансформируется дислокационная структура. Степень же реального упрочнения будет определяться вкладом каждого из механизмов, что определить расчетным путем с высокой точностью для различных материалов и режимов обработки не представляется возможным.

Таким образом, одним из главных недостатков технологии ЭПО является ее высокая наукоемкость, обусловленная необходимостью проведения длительных и дорогостоящих исследований влияния режимов облучения на физико-химическое состояние материала в поверхностных слоях деталей и изделий. Именно поэтому широкое внедрение указанной технологии в промышленное производство возможно только благодаря проведению большого объема прикладных научных исследований, обобщению и систематизации их результатов, а также публикации полученных материалов в широком доступе в научных изданиях.

Изучение влияния ЭПО на металлы и сплавы в настоящее время является важной задачей, работа над которой ведется как в РФ, так и за ее пределами. В рассматриваемой статье приведены результаты научно-исследовательских работ, выполненных различными авторскими коллективами по вопросу применимости технологии ЭПО для широкой номенклатуры металлических материалов за последние 10 лет. Поставлена актуальная задача по изучению модифицирующего воздействия импульсного электронного луча на никелевые жаропрочные сплавы без защитных покрытий.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЭПО ЗА ПОСЛЕДНИЕ 10 ЛЕТ

Получение производителями электронно-пучковых установок с высокой плотностью энергии в сочетании с низким ускоряющим напряжением, высокой энергетической эффективностью, широким диапазоном регулировки параметров и хорошей воспроизводимостью импульсов интенсифицировало как в

РФ, так и за ее пределами исследования в области модификации поверхностных слоев различных материалов с помощью электронных пучков.

Анализ публикаций отечественных авторов за последние 10 лет позволяет выделить несколько направлений, по которым развивалось применение ЭПО с целью модификации поверхности твердых тел, выполненных из различных металлов и сплавов:

- ЭПО поверхностных слоев с применением классической термообработки или без нее;
- ЭПО поверхностных слоев после электровзрывного легирования;
- ЭПО поверхностных слоев после наплавки;
- ЭПО поверхностных слоев аддитивных сплавов.

Выполненные научные исследования структурно-фазового состояния модифицированных электронным пучком образцов-свидетелей с помощью методов современного материаловедения, а также определение механических характеристик и проведение испытаний по установлению некоторых эксплуатационных свойств как до, так и после проведения ЭПО, позволили не только принципиально подтвердить применимость указанной технологии к различным металлам и сплавам, но и определить оптимальные режимы электронного пучка в каждом рассматриваемом случае.

Большинство имеющихся на сегодняшний день работ посвящено изучению модифицирующего влияния ЭПО на стали, титановые и алюминиевые сплавы, реже рассматриваются сплавы на никелевой и медной основе.

При обзоре исследовательских работ в статье использованы следующие обозначения режимов электронных пучков: eU – энергия электронов, кэВ τ – длительность воздействия электронного пучка электронов, мкс; N – количество импульсов воздействия, шт.; f – частота следования импульсов, $с^{-1}$; E_s – плотность энергии пучка электронов, Дж/см^2, q_e – плотность мощности, ГВт/м^2.

ЭПО ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ИЛИ БЕЗ НЕЕ

В п. 2 проанализированы результаты исследований, полученные после модификации поверхностных слоев с помощью ЭПО таких традиционных материалов, как стали, алюминиевых и титановых сплавов. Отражены основные изменения микроструктуры, сформированные за счет воздействия электронных пучков, а также приведены данные о некоторых прочностных и трибологических характеристиках материалов после обработки.

ЭПО СТАЛЕЙ

ЭПО (τ = 50 мкс, N = 3, f = 0,3 $с^{-1}$, 10 Дж/см^2, 20 Дж/см^2 и 30 Дж/см^2) рельсовой стали Э76Ф (зарубежных аналогов нет) позволило в 2,5 раза увеличить усталостную долговечность рассматриваемого материала при плотности энергии пучка E_s = 20 Дж/см^2 [18]. Обусловлено это тем, что концентраторы напряжений, приводящие к возникновению трещин на необработанных образцах, располагаются на поверхности. В то время как концентраторы в обработанных образцах находятся в подслое с большим количеством микропор. Располагается он на границе раздела слоя высокоскоростной кристаллизации и слоя термического влияния. Коллективом авторов установлено, что при большей плотности пучка (20 и 30 Дж/см^2) размеры пор оказывались существенно меньше, чем при плотности в E_s = 10 Дж/см^2, строки пор выражались менее явно, располагались на определенном расстоянии от поверхности. Но при этом уровень усталостной долговечности стали, обработанной при E_s = 30 Дж/см^2, оказался ниже даже исходного состояния материала (рисунок 1), что было обусловлено высокими остаточными напряжениями, сформированными в модифицированном слое при обработке.

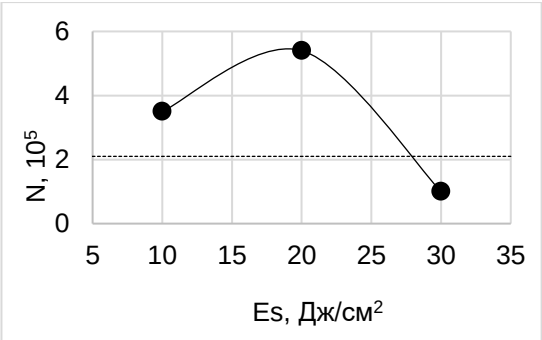


Рисунок 1 – Зависимость числа циклов образцов до разрушения N от плотности энергии пучка электронов E_s. Пунктирной прямой отмечена величина усталостной долговечности стали в исходном состоянии (до ЭПО) [18]

Figure 1 - Dependence of the number of cycles of samples before destruction N on the energy density of the electron beam Es. The dotted line marks the value of the fatigue life of steel in the initial state (before EBP) [18]

Исследование структуры поверхностного слоя нержавеющей стали 08Х18Н10Т (зарубежные аналоги: S32100 – США, X6 CrNiTi 18-10 – Германия, Z 6 CN 18-10 – Франция, 321 S 30 – Великобритания, SUS 321 – Япония), полученной после обработки высокоинтенсивным электронным пучком в условиях многоцикловой усталости [19], проводилась на режиме, соответствующем начальной стадии плавления материала (eU = 18 кэВ, τ = 50 мкс, N = 3, f = 0,3 $с^{-1}$, E_s = 15 Дж/$см^2$).

Установлено, что ЭПО стали на указанном режиме приводит к формированию многослойной микроструктуры. В структуре лицевой поверхности выявлены кристаллы ε-мартенсита с микротрещинами вдоль их границ раздела. В объеме переходного слоя выявлены области материала, не способные к дальнейшей эволюции в условиях пластической деформации, что служит в большинстве своем причиной возникновения и роста микротрещин. Также установлен факт наличия микропор и микротрещин на границе раздела поверхностного и переходного слоев.

При этом усталостная долговечность модифицированных образцов электронным пучком оказалась приблизительно в 1,5 раза выше, чем образцов в исходном состоянии. Причиной такого прироста стало растворение частиц карбидной фазы в поверхностном слое, достигнутое в ходе обработки. Также выявлено уменьшение средних размеров и плотности карбида $M_{23}C_6$ по мере приближения к модифицированной поверхности.

ЭПО (eU = 18 кэВ, τ = 50 мкс, N = 3, f = 0,3 $с^{-1}$, E_s = 10 Дж/$см^2$) жаропрочной хромистой стали мартенситного класса 20Х13 (зарубежные аналоги: S 42000 – США, X 20 Cr13 – Германия и Франция, 420 S 37 – Великобритания, SUS 420J1 – Япония) в режиме оплавления поверхности после предварительной закалки приводит, во-первых, к устранению поверхностных дефектов после механической обработки, во-вторых, к формированию микрократеров, располагающихся, в основном, строчками, в-третьих, к существенному измельчению зерен поверхностного слоя с размером ≈ 3 мкм.

Благодаря воздействию электронного луча в режиме оплавления, на поверхности формировалась градиентная многофазная структура. Толщина поверхностного слоя составила не менее 5 мкм, которая характеризовалась структурой с мелким зерном, а также наличием многофазной структуры, сформированной вдоль границы раздела карбид $M_{23}C_6$/матрица. В зоне термического влияния на глубине ≈ 20 мкм выявлена структура с высоким уровнем внутренних напряжений. После ЭПО усталостный ресурс предварительно закаленной стали 20Х13 по указанному режиму увеличился в 1,4 раза.

ЭПО (eU = 25 кэВ, τ = 60 мкс, N = 1, E_s = 70 Дж/$см^2$) инструментальной стали У7А (зарубежные аналоги: C 70 U – Германия, XC 65 FINS – Франция, CT 70 – Евронормы), благодаря высокоскоростной закалке способствовала измельчению в приповерхностном слое размеров зерен. Причем данный аспект способствовал изменению морфологии кристаллов мартенсита. Так, соотношение поперечных размеров зерен к продольным в модифицированном слое после электронного луча составило 1:4, тогда как после закалки в печи данное соотношение составляет 1:10. Также высокоскоростная закалка привела к формированию вблизи границ зерен областей, в которых кристаллы мартенсита оказались фрагментированы. В некоторых областях вблизи границы зерен наблюдалось образование кристаллов мартенсита, растущих параллельно границе [20].

Необходимо отметить, что в исходном состоянии сталь характеризовалась неоднородным распределением углерода. Проведение ЭПО в режиме устойчивого плавления поверхностного слоя не обеспечило гомогенизацию расплава, т.е. к равномерному распределению углерода в жидкой фазе. Данный аспект привел к формированию мартенситно-аустенитной структуры с неравномерной объемной долей остаточного аустенита в зоне облучения.

ЭПО ферритно-мартенситной стали ЭК-181 (16Х12В2ФТаР) (зарубежных аналогов нет) выполнялась электронными пучками с плотностью энергии от 10 до 30 Дж/$см^2$ и числом импульсов от 1 до 3 [21].

По результатам исследования удалось установить, что изменение структурно-фазового состояния поверхностных слоев сплава происходит в достаточно узком уровне плотностей энергии. Обработка поверхности образцов приводила к образованию субмикрокристаллической структуры феррита со значением твердости, превышающей материал в исходном состоянии. Однако толщина упрочненного слоя не превышала 10 мкм, что, в свою очередь, практически не оказывало влияние на прочностные свойства сплава при одноосном растяжении. Также благодаря проведению отжига при 700 °С удалось установить, что поверхностные зерна, образовавшиеся после модификации поверхности, не являются термически стабильными. После отжига зерна вырастали с 200 до 370 нм, что сопровождалось уменьшением твердости поверхностного слоя.

ЭПО ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Поговорим теперь о некоторых результатах модификации титановых и алюминиевых сплавов, полученных за последние годы с помощью ЭПО.

Обработка электронными пучками (eU = 115–120 кэВ, τ = 30 мкс, N > 2, E_s = 18–20 Дж/см^2) титанового сплава ВТ6 (зарубежные аналоги: WNr – Германия, JIS – Япония, AFNOR – Франция, BS – Великобритания) в режиме плавления способствовало формированию в поверхностном слое текстуры сжатия (толщина до 20 мкм) и мелкодисперсной глобулярно-пластинчатой микроструктуры с преимущественной ориентацией α-, α′- и α″-пластин параллельно или почти параллельно поверхности [22]. Полученная тонкодисперсная микроструктура с повышенной плотностью дислокаций и текстурой сжатия способствует повышению усталостной прочности исследуемого титанового сплава при испытаниях на изгиб.

ЭПО (eU = 16 кэВ, τ = 150 мкс, N = 3, f = 0,3 с$^{-1}$, E_s = 10-30 Дж/см^2) чистого титанового сплава ВТ1-0 (зарубежные аналоги: Grade 2 – США, Ti2 – Германия, Ti-P.02 – Франция, CP – Великобритания) способствовала образованию на поверхности образцов многослойной микроструктуры [23]. Верхний слой представлял собой пластинчатую структуру (толщина составила ≈10 мкм), нижележащий слой имел смешанную структуру пластин и субзерен (толщина составила ≈10 мкм), слой, расположенный на глубине 30–40 мкм от поверхности, в основном, имел субзеренную структуру. Облучение интенсивным электронным пучком позволило увеличить усталостную долговечность в среднем в 2,2 раза (рисунок 2) за счет образования глобулярной структуры при высокоскоростной кристаллизации поверхностного слоя.

Обработка сильноточными импульсными электронными пучками (СИЭП) (eU = 120 кэВ, τ = 30 мкс, N = 1, E_s = 18–20 Дж/см^2) титановых сплавов ВТ4 и ВТ20 (зарубежных аналогов нет) позволило сформировать в поверхностных слоях конусообразных образцов остаточные сжимающие напряжения [24].

Причем такой эффект наблюдался при одновременном облучении всех сторон и не зависел от режима обработки СИЭП. Важно отметить, что остаточные сжимающие напряжения в поверхностных слоях изделий, испытывающих многоцикловые нагрузки в процессе эксплуатации, являются благоприятными. Для их получения на производстве зачастую применяются дополнительные технологические операции.

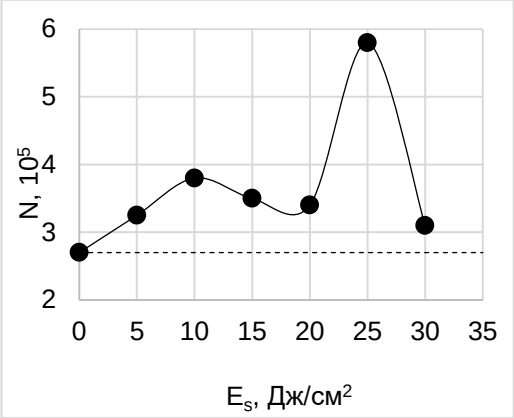


Рисунок 2 – Зависимость среднего (усреднение выполнено по пяти образцам) числа циклов до разрушения N от плотности энергии пуска электронов E_S. Значения усталостного ресурса исходного материала обозначены пунктирной линией [23]

Figure 2 - Dependence of the average (averaging was performed over five samples) number of cycles to destruction N on the energy density of the start-up of electrons E_S.
The fatigue life values of the starting material are indicated by the dashed line [23]

ЭПО АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

ЭПО (eU = 16 кэВ, τ = 150 мкс, N_1 = 1, N_2 = 5, f = 0,3 с$^{-1}$, E_s = 20 Дж/см^2) силумина АК12 (зарубежные аналоги: G-AlSi12 – Германия, S-S13 – Франция) привело к формированию в поверхностном слое образцов структуры ячеистой кристаллизации со средним размером ячеек 450 нм, между ячейками располагались прослойки кремния [25].

Облучение электронным пучком позволило увеличить усталостную долговечность сплава до 7,9 раз. Источниками усталостных микротрещин выступили пластины кремния малых размеров, не растворившихся при проведении ЭПО.

В работе [26] исследовались морфология и микротвердость поверхности алюминиевого сплава АК5М2 (зарубежные аналоги: A.319.0 – США, A-S5U3G – Франция), облученного электронным пучком на различных режимах: eU = 17 кэВ, τ = 50 и 200 мкс, N = 3, f = 0,3 с$^{-1}$, E_s = 10, 20, 30, 40 и 50 Дж/см^2.

Установлено, что ЭПО на режимах E_s = 30 Дж/см^2, τ = 200 мкс и E_s = 50 Дж/см^2, τ = 50 мкс способствовала максимальному значению микротвердости до 860–950 МПа (рисунок 3). Морфология поверхности на первом из указанных режимов характеризуется

многочисленными микротрещинами и микропорами, причинами которых, наиболее вероятно, является усадка материала при его высокоскоростной кристаллизации. Облучение поверхности сплава на втором режиме способствовало полному растворению в поверхностном слое частиц интерметаллидов и кремния, плотность трещин на поверхности относительно первого режима была существенно меньше. В объеме зеренной структуры наблюдались ячейки кристаллизации с размерами от 500 до 800 нм, что, по мнению авторов, и привело к увеличению прочностных свойств поверхностного слоя образцов.

Обработка электронными пучками силумина АК10М2Н (зарубежных аналогов нет) на 6 режимах (eU = 17 кэВ, τ = 150 мкс, N = 3, f = 0,3 $с^{-1}$, E_s = 10, 20, 30, 40, 50, 60 Дж/см^2) позволила сделать выводы о влиянии плотности энергии пучка электронов на структуру и механические характеристики поверхностных слоев сплава [27].

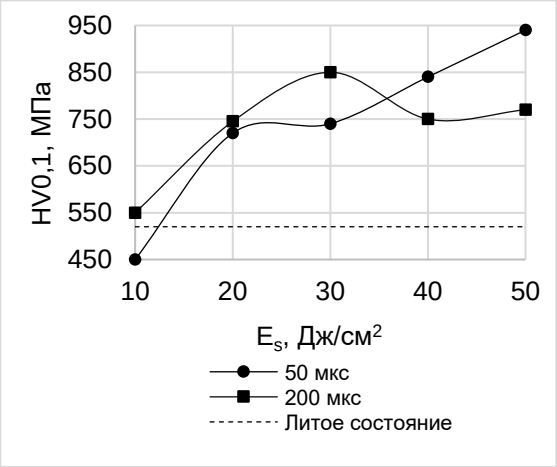


Рисунок 3 – Зависимость HV0,1 поверхности облучения сплава АК5М2 от E_S. HV0,1 сплава в литом состоянии указана пунктирной линией [26]

Figure 3 - Dependence of HV0,1 of the irradiation surface of the AK5M2 alloy on E_S.HV0,1 alloy as cast is indicated by the dotted line [26]

Исследования показали, что после обработки в материале формировалась ячеистая структура с частицами второй фазы субмикронного размера, обогащенная атомами Si, Cu, Ni и Fe. В свою очередь, ячеистая структура состояла из двух типов зерен, первые сформированы твердым раствором на основе Al, вторые представляли собой параллельные чередующиеся пластинки, в которых в большом количестве содержались атомы алюминия и кремния (размеры кристаллитов составляют от 5 до 10 нм). Оценка механических свойств поверхности обработанного материала выявила увеличение значений микротвердости на режимах с плотностями энергии E_s = 25, 30, 35 Дж/см^2, полученное за счет эмульгирования структуры поверхностного слоя.

ВЫВОДЫ

За последние 10 лет авторами из РФ выполнялись исследования модифицирующего действия ЭПО на структурно-фазовое состояние поверхностных слоев сталей, существенно различающихся как по своему химическому составу, так и по технологии изготовления. Анализ приведенных выше работ позволяет выделить несколько общих закономерностей, таковыми являются формирование при ЭПО сталей градиентной многофазной структуры, существенное уменьшение размера зерен в поверхностных слоях, а также наличие в зоне термического влияния остаточных напряжений с достаточно высоким уровнем. В остальном каждое отдельное исследование можно считать уникальным. Эффект упрочнения при этом носит индивидуальный характер и, как уже отмечалось в введении, зависит от физико-механических свойств обрабатываемых материалов, а также от параметров электронного луча.

Исследования титановых и алюминиевых сплавов, выполненных после ЭПО, позволяют говорить о существенном изменении структуры поверхностного слоя под действием электронного пучка, благоприятно сказывающегося как на механических [26, 27], так и на усталостных [23, 25] свойствах модифицированных образцов. Благодаря невысокой стоимости ЭПО, ее экологической чистоте и радиационной безопасности, технологию можно рекомендовать для поверхностного упрочнения сталей, алюминиевых и титановых сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов : учебник / В.А. Грибков, Ф.И. Григорьев, Б.А. Калин, В.Л. Якушин / Под редакцией Б.А. Калина. М. : Круглый год, 2001. 528 с. : ил. ISBN 5-88671-050-7.

2. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Дж.М. Поут, Г. Фоти, Д.К. Джекобсон. М. : Машиностроение, 1987. 424 с.

3. Pulsed electron beam facility (GESA) for surface treatment of materials / Engelko, V. [et al.]. // Vacuum. 2001. Vol. 62/2-3. P. 211–216.

4. Устройство для электронно-лучевой резки хрупких листовых неметаллических материалов: Пат. 178158 Рос. Федерация № 2017113054 ; заявл. 14.04.2017; опубл. 14.04.2017, Бюл. № 9. 5 с.

5. Оборудование для аддитивного производства с применением комбинированного процесса селективного электронно-лучевого плавления и электронно-лучевой резки : Пат. 2729279 Рос. Федерация № 2019126338 ; заявл. 17.01.2018; опубл. 05.08.2020, Бюл. № 22. 30 с.

6. Возможности электронно-лучевой установки «ЛУЧ» для размерной микрообработки стекла и керамических материалов / Я. Чжо и [др.]. // Наноиндустрия. 2020. Т. 13. № S2. С. 28–35. doi 10.22184/1993-8578.2020.13.2s.122.131.

7. Shcherbakov A.V. Current trends in development of electric equipment for electron-beam precision welding and dimensional machining // Russian Electrical Engineering. 2010. Vol. 81. № 3. P. 146–151. doi10.3103/S1068371210030089.

8. Способ изготовления сопла жидкостного ракетного двигателя оживальной формы (варианты) : Пат. 2536653 Рос. Федерация № 2013128090/06 ; заявл. 19.06.2013; опубл. 27.12.2014, Бюл. № 36. 11 с.

9. Способ изготовления секций ротора газотурбинного двигателя : Пат. 2682056 Рос. Федерация № 2018117512 ; заявл. 11.05.2018; опубл. 14.03.2019, Бюл. № 8. 6 с.

10. Gradient boosting method application to support process decisions in the electron-beam welding process / Tynchenko, V.S. [et al.]. // Siberian Journal of Science and Technology. 2020. Vol. 21. № 2. P. 206–214. doi 10.31772/2587-6066-2020-21-2-206-214.

11. Features of modeling the electron beam distribution energy for the electron-beam welding process / Kurashkin S.O. [et al.]. // Siberian Journal of Science and Technology. 2020. Vol. 21. № 2. P. 266–273. doi 10.31772/2587-6066-2020-21-2-266-273.

12. Смирнов Б., Иванов А. Электронно-лучевое напыление : технология и оборудование // Наноиндустрия. 2012. № 6 (36). С. 28–35.

13. Электронно-лучевая наплавка износостойких и коррозионно-стойких покрытий на низкоуглеродистую сталь / Полетика И.М. [и др.]. // Известия Томского политехнического университета. – 2012. Т. 321. № 2. С. 86–89.

14. Иванова Е.А., Наркевич Н.А. Исследование структуры и износостойкости азотистых аустенитно-мартенситных покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой в вакууме // Перспективные материалы. 2011. № S13. С. 350–357.

15. Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях / В.Е. Громов, С.В. Коновалов, К.В. Аксёнова, Т.Ю. Кобзарева ; Мин-во обр. и науки РФ, СибГИУ, Межгос. координац. совет по физике прочности и пластичности материалов. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2016. 249 с.

16. Влияние внешних энергетических воздействий на структуру и фазовый состав титана при многоцикловой усталости / С.В. Коновалов, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов, И.А. Панченко, С. Чэнь ; М-во науки и высшего обр. РФ, Самарский ун-т, СибГИУ, ИСЭ СО РАН. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2020. 184 с.

17. Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Vorobiev S.V., Konovalov S.V. Fatigue of steels modified by high intensity electron beams. – Cambridge: Cambridge Intern. Sci. Publ. Ltd., 2015. 272 p. ISBN 9781907343537.

18. Структура поверхностного слоя и усталостная долговечность рельсовой стали, облученной высокоинтенсивным электронным пучком / Иванов Ю.Ф. [и др.]. // Физическая мезомеханика. – 2013. Т. 16. № 2. С. 47–52.

19. Структура поверхностного слоя, формирующегося в стали 08Х18Н10Т, обработанной высокоинтенсивным электронным пучком, в условиях многоцикловой усталости / Иванов Ю.Ф. и др. // Физическая мезомеханика. 2011. Т. 14. № 1. С. 75–82.

20. Коваленко В.В. Структурные и фазовые превращения в инструментальной стали при обработке низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком // Физика и химия обработки материалов. 2014. № 5. С. 12–21.

21. Изменение микроструктуры поверхностных слоев стали ЭК-181 при облучении низкоэнергетическими электронными пучками / Панин А.В. и др. // Перспективные материалы. 2011. № S13. С. 670–675.

22. Текстурообразование в поверхностных слоях мишеней из сплава ВТ6 при облучении сильноточными импульсными электронными пучками / Шулов В.А. и др. // Физика и химия обработки материалов. 2016. № 6. С. 19–24.

23. Исследование титанового сплава, подвергнутого электронно-пучковой обработке, приводящей к повышению усталостного ресурса / Коновалов С.В. и др. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2018. Т. 15. № 1. С. 109–113. doi 10.25712/ASTU.1811-1416.2018.01.014.

24. Шулов В.А., Быценко О.А., Теряев Д.А., Стешенко И.Г., Перлович Ю.А., Исаенкова М.Г., Фесенко В.А. Формирование остаточных напряжений в поверхностных слоях мишеней из сплавов ВТ4 и ВТ20 при одновременном облучении всех сторон сильноточными импульсными электронными пучками / Редколлегия : В.В. Углов и др. // Взаимодействие излучений с твердым телом. Материалы 13-й Международной конференции. Минск : Белорусский государственный университет, 2019. С. 331–333.

25. Влияние электронно-пучковой обработки на изменение структуры силумина при многоцикловой усталости / Коновалов С.В. и др. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2015. Т. 12. № 2. С. 193–197.

26. Морфология и микротвердость поверхности сплава АК5М2, облученного электронным пучком / Загуляев Д.В. и др. // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2020. № 4 (54). С. 7–14. doi 10.18323/2073-5073-2020-4-7-14.

27. Effect of the density of electron beam energy on the structure and mechanical characteristics of surface layers of hypoeutectic silumin / Zagulyaev D.V. et al. // Bulletin of the russian academy of sciences : physics. 2019. Vol. 83. № 10. P. 1402-1409.doi10.1134/S0367676519100296.

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, заведующий кафедрой технологии металлов и авиационного материаловедения Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева.

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. Gribkov, V.A., Grigor'ev, F.I., Kalin, B.A. & Yakushin, V.L. (2001). *Advanced radiation-beam technologies for material processing* [Translated by author of the article]. Moscow : Kruglyj god. (In Russ.).

2. Pout, Dzh.M., Foti, G. & Dzhekobson, D.K. (1987). *Surface modification and alloying by laser, ion and electron beams.* Moscow : Mashinostroenie. (In Russ.).

3. Engelko, V., Yatsenko, B., Mueller, G. & Bluhm, H. (2001). Pulsed electron beam facility (GESA) for surface treatment of materials. *Vacuum*, (62/2-3), 211-216. (In Russ.).

4. Burdavcev, V.A., Zenin, A.A., Klimov, A.S. & Oks, E.M. (2017). Device for electron beam cutting of brittle sheet non-metallic materials [Translated by author of the article]. *Pat. 178158. Russian Federation, published on 26.03.2018*. Bull. No. 9. (In Russ.).

5. Lin', F., Chzhou, B., Ven'tao, Ya., Chzhonsin, L., Lej, Ch., Tin, Ch. & Chao, G. (2020). Equipment for additive production using combined process of selective electron-beam melting and electron-beam cutting. *Pat. 2729279. Russian Federation, published on 05.08.2020*. Bull. No. 22. (In Russ.).

6. Chzho, Ya., Lyan, M., Moiseev, K.M., Kolesnik, L.L. & Panfilov, Yu.V. (2020). Possibilities of the electron-beam machine "LUCH" for dimensional microprocessing of glass and ceramic materials. *Nanoindustry* [Translated by author of the article], 13(S2), 28-35. (In Russ.).

7. Shcherbakov, A.V. (2010). Current trends in development of electric equipment for electron-beam precision welding and dimensional machining. *Russian Electrical Engineering*, (81-3), 146-151. (In Russ.). doi: 10.3103/S1068371210030089.

8. Rachuk, V.S., Koptev, I.T., Tabakov, K.O., Omigov, B.I., Gordon, A.M., Rubinskij, V.R., Sharov, Yu.V. & Nekrasov, A.N. (2014). Method of fabrication of ogival-shaped nozzle of liquid fuel rocket motor (versions). *Pat. 2536653. Russian Federation, published on 27.12.2014*. Bull. No. 36. (In Russ.).

9. Gejken, V.A., Sharonova, N.I., Potapov, A.Yu., Rodin, E.V., Yakovlev, M.G. & Nikitin, A.I. (2019). Gas turbine engine rotor sections manufacturing method. *Pat. 2682056. Russian Federation, published on 14.03.2019*. Bull. No. 8. (In Russ.).

10. Tynchenko, V.S., Golovenok, I.A., Petrenko, V.E., Milov, A.V. & Murygin, A.V. (2020). Gradient boosting method application to support process decisions in the electron-beam welding process. *Siberian Journal of Science and Technology,* 21(2), 206-214. doi: 10.31772/2587-6066-2020-21-2-206-214.

11. Kurashkin, S.O., Seregin, Yu.N., Murygin, A.V. & Petrenko, V.E. (2020). Features of modeling the electron beam distribution energy for the electron-beam welding process. *Siberian Journal of Science and Technology*, 21(2), 266-273. doi: 10.31772/2587-6066-2020-21-2-266-273.

12. Smirnov, B. & Ivanov, A. (2012). Electron beam deposition: technology and equipment. *Nanoindustry* [Translated by author of the article], 6(36), 28-35. (In Russ.).

13. Poletika, I.M., Makarov, S.A., Tetyuckaya, M.V. & Krylova, T.A. (2012). Electron Beam Cladding of Wear and Corrosion Resistant Coatings on Low Carbon Steel [Translated by author of the article]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University,* 321(2), 86-89. (In Russ.).

14. Ivanova, E.A. & Narkevich, N.A. (2011). Investigation of the structure and wear resistance of nitrogenous austenitic-martensite coatings obtained by electron beam surfacing in vacuum [Translated by author of the article]. *Promising materials* [Translated by author of the article], (S13), 350-357. (In Russ.).

15. Gromov, V.E., Konovalov, S.V., Aksyonova, K.V. & Kobzareva, T.Yu. (2016). *Evolution of the structure and properties of light alloys under energy influences* [Translated by author of the article]. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN. (In Russ.).

16. Konovalov, S.V., Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F., Panchenko, I.A. & Chen, S. (2020). *Influence of external energy influences on the structure and phase composition of titanium during high-cycle fatigue* [Translated by author of the article]. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN. (In Russ.).

17. Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F., Vorobiev, S.V. & Konovalov, S.V. (2015). *Fatigue of steels modified by high intensity electron beams*. Cambridge: Cambridge Intern. Sci. Publ. Ltd.

18. Ivanov, Yu.F., Gromov, V.E., Grishunin, V.A., Teresov, A.D. & Konovalov, S.V. (2013). Surface layer structure and fatigue life of rail steel irradiated by a high-intensity electron beam. *Physical Mesomechanics*, 16(2), 47-52. (In Russ.).

19. Ivanov, Yu.F., Gorbunov, S.V., Vorobiev, S.V., Koval, N.N., Konovalov, S.V. & Gromov, V.E. (2011). Structure of the surface layer formed in 08Cr18Ni10Ti steel treated by an electron beam of high energy density in high-cycle fatigue. *Physical Mesomechanics,* 14(1), 75-82. (In Russ.).

20. Kovalenko, V.V. (2014). Structural and phase transformations in the carbon tool steel under treatment with a low-energyhigh-current electron beam. *Inorganic Materials: Applied Research,* (5), 12-21. (In Russ.).

21. Panin, A.V., Sinyakova, E.A., Perevalova, O.B., Koval', N.N., Leont'eva-Smirnova, M.V. & Chernov, V.M. (2011). Changes in the microstructure of the surface layers of EK-181 steel upon irradiation with low-energy electron beams [Translated by author of the article]. *Promising materials* [Translated by author of the article], (S13), 670-675. (In Russ.).

22. Shulov, V.A., Gromov, A.N., Teryaev, D.A., Perlovich, Yu.A., Isaenkova, M.G. & Fesenko, V.A. (2016). Texture formation in the surface layer of targets from VT6 alloyunder irradiation with intense pulsed electron beams. *Inorganic Materials: Applied Research,* (6), 19-24. (In Russ.).

23. Konovalov, S.V., Komissarova, I.A., Chen, X., Kosinov, D.A., Gromov, V.E. & Ivanov, Yu.F. (2018). Research of Ti-alloy subjected to electron beam treatment resulting in fatigue service life increase. *Basic problems of material science,* 15(1), 109-113. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.1811-1416.2018.01.014.

24. Shulov, V.A., Bycenko, O.A., Teryaev, D.A., Steshenko, I.G., Perlovich, Yu.A., Isaenkova, M.G. & Fesenko, V.A. Formation of residual stresses in the surface layers of VT4 and VT20 alloy targets during the simultaneous irradiating of part all sizes by intense pulsed electron beams. *Interaction of radiation with solids. Proceedings of the 13th International Conference.* V.V. Uglov (Ed.). Minsk, Belarusian State University. (In Russ.).

25. Konovalov, S.V., Alsaraeva, K.V., Ivanov, Yu.F., Gromov, V.E., Petrikova, E.A. & Teresov, A.D. (2015). Influence of electron-beam treatment on the change in the structure of silumin during high-cycle fatigue [Translated by author of the article]. *Basic problems of material science*, 12(2), 193-197. (In Russ.).

26. Zagulyaev, D.V., Abaturova, A.A., Aksenova, K.V., Leonov, A.A. & Yakupov, D.F. (2020). The morphology and microhardness of the surface of AK5M2 alloy irradiated by an electron beam. *Science Vector of Togliatti State University. Series: Pedagogy, Psychology,* 4(54), 7-14. (In Russ.). doi: 10.18323/2073-5073-2020-4-7-14.

27. Zagulyaev, D.V., Ivanov, Yu.F., Glezer, A.M., Gromov, V.E. & Konovalov, S.V. (2019). Effect of the density of electron beam energy on the structure and mechanical characteristics of surface layers of hypoeutectic silumin. *Bulletin of the russian academy of sciences: physics,* 83(10), 1402-1409. doi: 10.1134/S0367676519100296.

Information about the authors

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. Konovalov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science, Samara National Research 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.

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

Статья поступила в редакцию 06.10.2021; одобрена после рецензирования 24.11.2021; принята к публикации 30.11.2021.

The article was received by the editorial board on 6 Oct 21; approved after reviewing on 24 Nov 21; accepted for publication on 30 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 140 – 145.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 140–145.

Научная статья
05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 534-16:531.44
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.018

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дмитрий Анатольевич Негров [1], Виталий Юрьевич Путинцев [2]

[1, 2] Омский государственный технический университет, Омск, Россия
[1] negrov_d_a@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5713-5470
[2] putintsev_vit@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2003-0819

Аннотация. *Улучшение технологии холодного прессования и получение готовых изделий с повышенными эксплуатационными свойствами из полимерных композиционных материалов является актуальной задачей современного материаловедения. В статье представлены результаты исследования влияния ультразвукового воздействия с одновременно наложенной низкочастотной амплитудной модуляцией на механические свойства и триботехнические характеристики полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена, модифицированного гексагональным нитридом бора.*

Установлено, что режим прессования композиционного материала с применением ультразвукового воздействия частотой 17 кГц и одновременно наложенной низкочастотной амплитудной модуляцией 100 Гц позволяет повысить механические свойства: предел прочности при растяжении на 10–18 % относительное удлинение на 11–20 %, модуль упругости на 13–19 %, твердость на 4 %.

На основании проведенных исследований триботехнических характеристик ПКМ на основе ПТФЭ модифицированных гексагональным нитридом бора 5 масс. % наблюдается снижение интенсивности массового изнашивания на 39 %, коэффициента трения – на 11 %.

Ключевые слова: *политетрафторэтилен, нитрид бора, низкочастотная модуляция, ультразвуковое воздействие, интенсивность массового изнашивания, коэффициент трения.*

Благодарности: *Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90109.*

Для цитирования: *Негров, Д. А., Путинцев, В. Ю. Влияние низкочастотной модуляции на механические свойства и триботехнические характеристики полимерных композиционных материалов* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 140–145. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.018.

© Негров, Д. А., Путинцев, В. Ю., 2021

Original article

INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY MODULATIONON MECHANICAL PROPERTIES AND TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Dmitriy A. Negrov [1], Vitaliy Yu. Putintsev [2]

[1, 2] Omsk State Technical University, Omsk, Russia
[1] negrov_d_a@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5713-5470
[2] putintsev_vit@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2003-0819

Abstract. *Improving the technology of cold pressing and obtaining finished products with increased operational properties from polymer composite materials is an urgent task of modern materials science. This article presents the results of a study of the effect of ultrasonic action with a simultaneously superimposed low-frequency amplitude modulation on the physical properties and tribotechnical characteristics of a polymer composite material based on polytetrafluoroethylene modified with hexagonal boron nitride. It has been established that the mode of pressing a composite material using ultrasonic action with a frequency of 17 kHz and simultaneously superimposed low-frequency amplitude modulation of 100 Hz allows increasing the mechanical properties: tensile strength by 10-18%, relative elongation by 11-20%, elastic modulus by 13-19%, hardness 4%. Based on the studies of the tribotechnical characteristics of PCM based on PTFE modified with hexagonal boron nitride 5 wt. % there is a decrease in the intensity of mass wear by 39%, the coefficient of friction by 11%.*

Keywords: *PTFE, boron nitride, low-frequency modulation, ultrasonic action, intensity of mass wear, coefficient of friction.*

Acknowledgments: *The reported study was funded by RFBR, project number 20-33-90109.*

For citation: Negrov, D. A. & Putintsev, V. Yu. (2021). Influence of low-frequency modulation on mechanical properties and tribotechnical characteristics of polymer composite materials. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 140-145. (in Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.018.

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Важной областью использования ПКМ на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) являются трибологические узлы трения, вакуумные уплотнения, к которым предъявляются повышенные эксплуатационные требования, что приводит к усовершенствованию технологических параметров производства.

Выбор политетрафторэтилена обоснован высокими антифрикционными свойствами и способностью работать в узлах трения в условиях сухой смазки. Уникальные триботехнические характеристики ПТФЭ заключаются в низком коэффициенте трения (0,04–0,08) при скорости скольжения менее 0,01 м/с. При увеличении скорости скольжения коэффициент трения ПТФЭ возрастает и составляет более 0,3 [1–3]. Наиболее распространенным методом улучшения механических свойств и триботехнических характеристик является введение в полимерную матрицу наполнителей-модификаторов различного типа (дисперсных, волокнистых, ультрадисперсных) [4–6]. В качестве наполнителя применялся нитрид бора, который существенно влияет на прочностные и пластические свойства полимерных композиционных материалов, понижает коэффициент трения и интенсивность изнашивания ПКМ, значительно улучшает эксплуатационные свойства [7–8].

Образцы изготавливались холодным прессованием. Для повышения качества прессования получили применение способы уплотнения порошков с наложением внешнего ультразвукового воздействия. Под действием акустической вибрации силы трения и сцепления частиц уменьшаются, существенно облегчается возникновение и развитие пластической деформации частиц порошка. При этом повышается равномерность укладки компонентов полимера. Предлагаемая технология прессования ПКМ с ультразвуковым воздействием и одновременно наложенной низкочастотной амплитудной модуляцией, обеспечит усиление степени взаимодействия наполнителей с полимером, новые эффекты объемного воздействия разно-

частотных акустических волн, равномерность укладки частиц полимера, уменьшит поры, разрушит арочные образования в процессе формирования ПКМ [9]. Улучшение технологии холодного прессования и получение готовых изделий с повышенными эксплуатационными свойствами из полимерных композиционных материалов является актуальной задачей современного материаловедения. Целью данной работы является исследование влияния ультразвукового воздействия с одновременно наложенной низкочастотной амплитудной модуляцией на физические свойства и триботехнические характеристики полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена модифицированного гексагональным нитридом бора.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является промышленно выпускаемый политетрафторэтилен марки ПН-20, плотностью 2,16 г/ см^3, средний размер частиц 6–20 мкм и графитоподобный гексагональный нитрид бора с содержанием 0,5; 1;3; 5;10 масс. %.

Методика исследования заключалась в сравнении разных технологических режимов прессования на механические свойства и триботехнические характеристики полимерного композиционного материала. Образцы для проведения исследований изготовлены по технологии холодного прессования. Предварительно проведено механическое размельчение и смешивание порошка в лабораторной мельнице с частотой вращения ножей не менее 2800 мин$^{-1}$. Для сравнения механических свойств и триботехнических характеристик были изготовлены образцы по трем технологическим режимам. Первый режим – традиционное прессование без внешнего энергетического воздействия (без УЗ). Второй режим заключался в воздействии ультразвуковых колебаний 17000 Гц без низкочастотной модуляции (УЗ). Третий режим – ультразвуковые колебания 17000 Гц с одновременно наложенной низкочастотной модуляцией 100 Гц (УЗ+100). Время прессования составляло 60 секунд. Образцы для исследований изготавливали на установке, состоящей из гидравлического пресса ГМС-50, модернизированного ультразвукового генератора УЗГ-6М, работающем в частотном диапазоне 17–23 кГц, магнитострикционного преобразователя ПМС-15А-18.

Термическая обработка образцов проводилась в программируемой печи СНОЛ7/10. Режим спекания образцов ПТФЭ заключался в плавном нагреве до (360 ± 1) ºС со скоростью 2 °С/мин, выдержке заготовки полимерного композита при температуре (360±1) ºС из расчета 9 мин на 1 мм толщины образца, регулируемом охлаждении со скоростью 0,5 ºС/мин до 327 ºС и последующим охлаждении вместе с печью до комнатной температуры.

Для определения механических свойств согласно ГОСТ 11262-80 использовалась машина для испытаний Zwick Roell BT2. Модуль упругости определялся по стандартной методике ГОСТ 25.601-80.

Твердость материала определялась по Шору с помощью твердомера TBP-D (шкала D).

Определение триботехнических характеристик проводилось на машине трения УМТ-2168. Диаметр образцов 10,0±0,1 мм, длина 15±0,1 мм, контртело-стальной диск из стали марки 45 с твёрдостью 45–50 HRC, шероховатостью Ra < 0,32 мкм. При проведении испытаний к образцам прикладывалась нормальная нагрузка –471 Н, линейная скорость скольжения составляла –0,75 м/с, время испытания – 60 минут. Технологическую приработку ПКМ проводили в течение 10 минут при нагрузке 471 Н и скорости скольжения 0,75 м/с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что у образцов, отпрессованных с ультразвуковым воздействием и низкочастотной модуляцией 100 Гц (рисунок 1, *а*) при содержании 5 масс. % нитрида бора достигается максимальное значение предела прочности 27 МПа, что на 11 % больше, чем у образцов, отпрессованных по традиционной технологии (рисунок 1, *в*). Для сравнения приведены значения, полученные после прессования с ультразвуковым воздействием без наложения низкочастотной модуляции (рисунок 1).

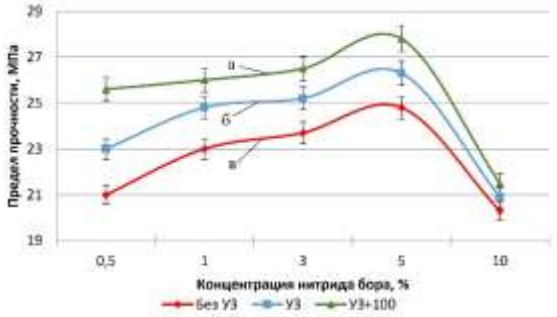


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности от концентрации нитрида бора

Figure 1 - Dependence of ultimate strength on boron nitride concentration

Максимальное значение относительного удлинения достигается на режиме УЗ+100 (рисунок 1, *а*) при концентрации нитрида бора

3 масс. % и составляет 520 %, дальнейшее увеличение содержания до 5 масс. % приводит к плавному уменьшению относительного удлинения (рисунок 2), до 10 масс. – % к резкому уменьшению 326–360 %.

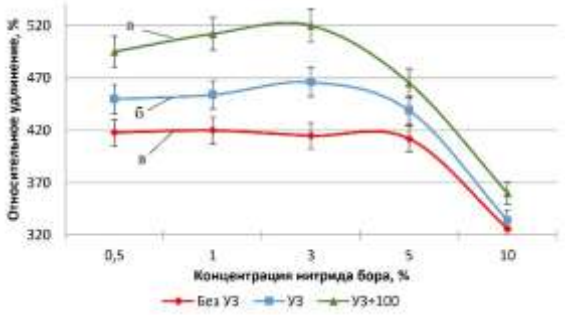


Рисунок 2 – Зависимость относительного удлинения от концентрации нитрида бора

Figure 2 - Dependence of the elongation on the concentration of boron nitride

Значения модуля упругости всех образцов представлены на рисунке 3. Максимальное значение модуля упругости достигается на режиме УЗ+100 и составляет 504 МПа – это на 19 % больше, чем у образцов, изготовленных по традиционной технологии.

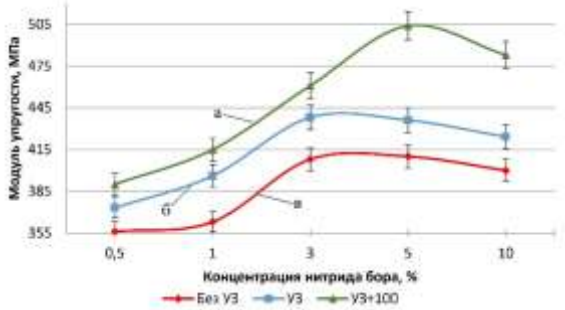


Рисунок 3 – Зависимость модуля упругости от концентрации нитрида бора

Figure3 - Dependence of the modulus of elasticity on the concentration of boron nitride

На рисунке 4 приведены результаты сравнения влияния разных режимов прессования на твердость полимерных композиционных материалов. Установлено монотонное увеличение твердости в зависимости от увеличения концентрации гексагонального нитрида бора.

Анализ триботехнических характеристик материала в условиях сухого трения показал, что минимальная интенсивность массового изнашивания достигается на режиме прессования УЗ+100 при содержании наполнителя 5 масс. % и составляет 0,151 г/ч, что на 39 % меньше, чем у образцов, полученных при прессовании по традиционной технологии (рисунок 5). Значение коэффициента трения при этом составляет 0,223, что на 11 % меньше по сравнению с режимом без внешнего энергетического воздействия (рисунок 6).

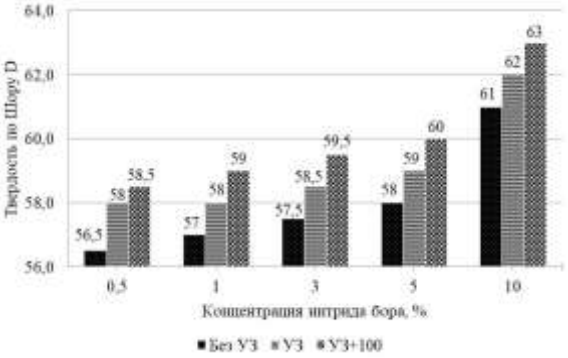


Рисунок 4 – Зависимость твердости по Шору (D) от концентрации нитрида бора

Figure 4 - Shore hardness (D) versus boron nitride concentration

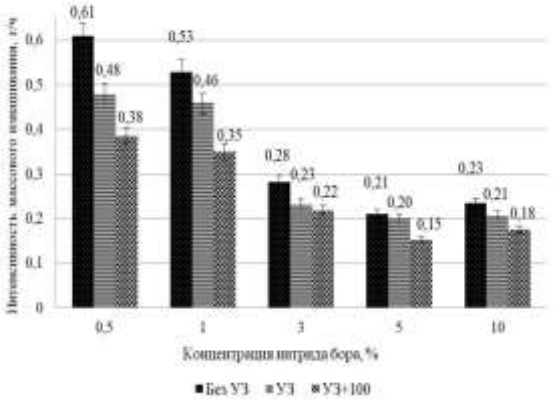


Рисунок 5 – Зависимость интенсивности массового изнашивания от концентрации нитрида бора

Figure 5 - Dependence of the intensity of mass wear on the concentration of boron nitride

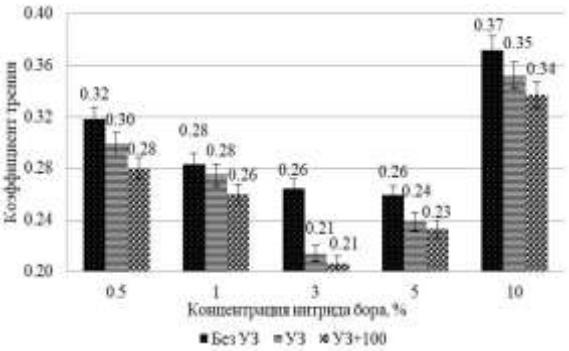


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента трения от концентрации нитрида бора

Figure 6 - Dependence of the friction coefficient on the boron nitride concentration

Модификация политетрафторэтилена гексагональным нитридом бора до 5 масс. % положительно влияет на триботехнические характеристики. Можно предположить, что низкие значения коэффициента трения и интенсивности массового изнашивания, полученные при прессовании с наложением ультразвуковых колебаний и низкочастотной модуляции, объясняются более равномерным распределением наполнителя в матрице, за счет одновременного вибрационного воздействия низкочастотной модуляции и теплового воздействия ультразвуковых колебаний на прессуемый материал. Технологический режим УЗ+100 приводит к формированию более однородной структуры, возникновению межмолекулярного взаимодействия в поверхностных слоях частиц порошка на этапе прессования ПКМ.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований определено рациональное содержание нитрида бора 5 масс. %, которое существенно влияет на прочностные и пластические свойства полимерных композиционных материалов.

Определен рациональный режим прессования ПКМ на основе ПТФЭ с применением ультразвукового воздействия частотой 17 кГц и одновременно наложенной низкочастотной амплитудной модуляцией 100 Гц.

Режим УЗ+100 позволяет повысить механические свойства ПКМ на основе ПТФЭ: предел прочности при растяжении на 10–18 % относительное удлинение на 11–20 %, модуль упругости – на 13–19 %, твердость – на 4 %.

На основании проведенных исследований триботехнических характеристик ПКМ на основе ПТФЭ модифицированных гексагональным нитридом бора 5 масс. % наблюдается снижение интенсивности массового изнашивания на 39 %, коэффициента трения – на 11 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang J., Yan, F., Xue Q. Tribological behavior of PTFE sliding against steel in sea water // Wear. – 2009. – 267 (9–10). – 1634–1641. DOI:10.1016/j.wear. 2009.06.015.

2. Alam K.I., Dorazio A., Burris D.L. Polymers tribology exposed: eliminating transfer film effects to clarify ultralow wear of PTFE // Tribology Letters. 2020. 68. – 1–13. DOI:10.1007/s11249-020-01306-9.

3. Conte M., Fernandez B., Igartua A. Effect of surface temperature on tribological behavior of PTFE composites // Proceedings of the Surface Effects and Contact Mechanics X. UK. 2011. 1. 219–230. DOI:10.2495/SECM11019.

4. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена / А.А. Охлопкова и др. // Российский химический журнал. 2008. № 3. С. 147–152.

5. Негров Д.А., Путинцев, В.Ю. Усовершенствование технологии прессования изделий из политетрафторэтилена // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2021. № 14 (5). С. 564–571. DOI: 10.17516/1999-494X-0333.

6. Машков Ю.К., Кропотин О.В., Чемисенко О.В. Разработка и исследование полимерного нанокомпозита для металлополимерных узлов трения // Омский научный вестник. 2014. № 3 (133). С. 64–66.

7. Механохимический синтез полимерсодержащих композитов на основе нитрида бора / Т.Ф. Григорьева и др. // Химия в интересах устойчивого развития. 2019. Т. 27. № 3. С. 293–297. DOI: 10.15372/KhUR2019136.

8. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов / А.С. Колосова и др. // Фундаментальные исследования. 2017. № 10–3. С. 459–465.

9. Стручкова Т.С., Нюрова А.Г., Николаева А.Д. Исследование влияния терморасширенного графита на триботехнические характеристики политетрафторэтилена // Южно-Сибирский научный вестник. 2019. № 4–1 (28). С. 303–306. DOI:10.25699/SSSB.2019.28.46390.

Информация об авторах

Д. А. Негров – доцент, к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского государственного технического университета.

В. Ю. Путинцев – аспирант кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Wang, J., Yan, F., Xue, Q. (2009). Tribological behavior of PTFE sliding against steel in sea water. *Wear,* 267 (9-10), 1634-1641. DOI:10.1016/j.wear. 2009.06.015.

2. Alam, K.I., Dorazio, A. (2020). Polymers tribology exposed: eliminating transfer film effects to clarify ultralow wear of PTFE. *Tribology Letters*, (68), 1-13. DOI:10.1007/s11249-020-01306-9.

3. Conte, M., Fernandez, B. (2011). Effect of surface temperature on tribological behavior of PTFE composites. *Proceedings of the Surface Effects and Contact Mechanics X.* UK, 2011, (1), 219-230. DOI:10.2495/SECM11019.

4. Okhlopkova, A.A., Petrova, P.N. (2008). Polymer composite materials for tribotechnical purposes based on polytetrafluoroethylene. *Russian Chemical Journal*, (3), 147-152. (in Russ.).

5. Negrov, D.A., Putintsev, V.Yu. (2021). Improvement of pressing technology of products from polytetrafluoroethylene, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. &*

Technol., 14(5), 564-571. (In Russ.). DOI: 10.17516/1999-494X-0333.

6. Mashkov, Yu.K., Kropotin, O.V. (2014). Development and research of polymer nanocomposite for metal-polymer friction units *Omsk Scientific Bulletin*. 3 (133). 64-66. (In Russ.).

7. Grigorieva, T.F., Kovaleva, S.A. (2019). Mechanochemical synthesis of polymer-containing composites based on boron nitride *Chemistry for Sustainable Development*. (3) 293-297. (In Russ.). DOI: 10.15372/KhUR2019136.

8. Vitkalova, I.A., Torlova, A.S. (2017). Fillers for modification of modern polymer composite materials, *Basic research*. (10-3). 459-465. (In Russ.).

9. Struchkova, T.S., Nyurova, A.G. (2019). Investigation of the effect of thermally expanded graphite on the tribotechnical characteristics of polytetrafluoroethylene, *South Siberian Scientific Bulletin*. (28).303-306. (In Russ.). DOI:10.25699/SSSB.2019.28.46390.

Information about the authors

D. A. Negrov - Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Omsk State Technical University.

V. Yu. Putintsev - postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Omsk State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30.10.2021; одобрена после рецензирования 15.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 30 Oct 21; approved after reviewing on 15 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 146–150.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 146–150.

Научная статья
05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 669.58
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.019

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИИ АЛЮМИНИЙ-ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ НА СТАЛЬНОМ ЛИСТЕ

Михаил Алексеевич Гурьев [1], Александр Анатольевич Бердыченко [2], Алексей Михайлович Гурьев [3], Сергей Геннадьевич Иванов [4], Александр Владимирович Дьяченко [5], Наталья Сергеевна Малыгина [6]

[1, 2, 3, 4] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[3] Уханьский текстильный университет, Ухань, КНР
[5, 6] ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

[1] gurievma@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9191-1787
[2] berd50@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1392-1223
[3] gurievam@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-7570-8877
[4] serg225582@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5965-0249
[5] alvdyachenko@yandex.ru
[6] natmgn@gmail.com

Аннотация. *В работе проведены результаты исследований коррозионного повреждения цинк-алюминиевого покрытия на стальном листе. В результате исследований установлено, что появление пятен чёрного цвета на поверхности цинк-алюминиевого покрытия связаны с вытравливанием цинка из его состава и окислением в результате этого процесса алюминия во влажной кислой среде. Возникновение такой среды может быть связано с присутствием в окружающей атмосфере углекислого газа.*

Ключевые слова: *коррозия, цинк, алюминий, сталь, коррозионностойкие покрытия.*

Благодарности: *Пробоподготовка образцов и исследования элементного состава методами РФА и ОЭС, а также структурные исследования методами оптической микроскопии выполнены в Центре коллективного пользования лабораторно-исследовательским оборудованием АлтГТУ. Структурные исследования методами РЭМ и элементный микроанализ выполнены в Центре коллективного пользования микроскопии и рентгеновской спектроскопии Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (Барнаул, Россия).*

Для цитирования: *Исследование коррозии алюминий-цинкового покрытия на стальном листе / М. А. Гурьев [и др.]* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 146–150. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.019.

© Гурьев, М. А., Бердыченко, А. А., Гурьев, А. М., Иванов, С. Г., Дьяченко, А. В., Малыгина, Н. С., 2021

Original article

INVESTIGATION OF CORROSION OF ALUMINUM-ZINC COATING ON STEEL SHEET

Mikhail A. Guryev [1], Alexander A. Berdychenko [2], Alexey M. Guriev [3], Sergey G. Ivanov [4], Alexander V. Dyachenko [5], Natalia S. Malygina [6]

Abstract. *In this work, the results of studies of corrosion damage of zinc-aluminum coating on a steel sheet have been carried out. As a result of the research, it was found that the appearance of black spots on the surface of the zinc-aluminum coating is associated with the etching of zinc from its composition and the oxidation of aluminum as a result of this process in a humid acidic environment. The emergence of such an environment may be associated with the presence of carbon dioxide in the atmosphere.*

Keywords: *corrosion, zinc, aluminum, steel, corrosion-resistant coatings.*

Acknowledgements: *Sample preparation and elemental composition studies by XRF and NPP methods, as well as structural studies by optical microscopy methods were performed at the Center for Collective Use of Laboratory and Research Equipment of AltSTU. Structural studies using SEM methods and elemental microanalysis were performed at the Center for Collective Use of Microscopy and X-ray Spectroscopy of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia).*

For citation: Guriev, M. A., Berdychenko, A. A., Guriev, A. M., Ivanov, S. G., Dyachenko, A. V. & Malygina, N. S. (2021). Investigation of corrosion of aluminum-zinc coating on steel sheet. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 146-150. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.019.

Большая доля производимого цинка используется в качестве защитных покрытий стальных конструкций от коррозии. По коррозионной и механической стойкости цинковые покрытия уступают покрытиям на основе цинк-алюминиевых сплавов [1–8].

В настоящей работе методами оптической и растровой электронной микроскопии исследована причина возникновения чёрных пятен на поверхности рифлёной стали с коррозионностойким цинк-алюминиевым покрытием (рисунок 1).

а

б

Рисунок 1 – Рифлёная сталь с коррозионностойким цинк-алюминиевым покрытием, подверженным коррозии

Figure 1 - Corrugated steel with corrosion-resistant zinc-aluminum coating, subject to corrosion

На исследование предоставлены образцы рифлёной стали толщиной 0,25 мм с коррозионностойким цинк-алюминиевым покрытием. В процессе транспортировки пакетов рифлёной стали в открытых вагонах железнодорожным транспортом края листов в пакетах подверглись коррозии (рисунок 1). Коррозия проявилась в виде пятен чёрного цвета, распространяющихся перпендикулярно торцевым краям листов на расстояние до 500 мм и шириной до 150 мм.

Элементный анализ покрытия при помощи рентген-флуоресцентного анализатора «X-MET 7500» (РФА) и оптико-эмиссионного спектрометра «Solaris CCDPlus» (ОЭС) показал, что покрытие представляет собой цинк-алюминиевое покрытие «Гальфан» с содержанием порядка 55 % Al, 43 % Zn, 2 % Si (таблица 1). Микроструктура покрытия, полученная при помощи оптической микроскопии, представлена на рисунке 2.

Таблица 1 – Элементный состав покрытия стального листа, %

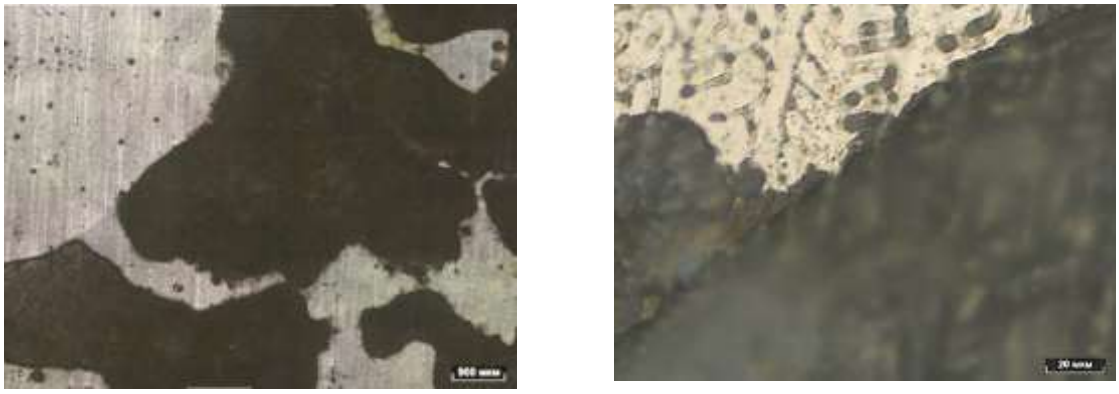
Table 1 - Elemental composition of the steel sheet coating, %

Метод анализа	Al	Zn	Si
Рентген-флуоресцентный	54,30	44,10	1,60
Оптикоэмиссионный	55,00	43,63	1,37

а б

Рисунок 2 – Макро- (а) и микроструктура (б) антикоррозионного алюминий-цинкового покрытия на стальном листе

Figure 2 - Macro- (a) and microstructure (b) of anticorrosive aluminum-zinc coating on steel sheet



а б

Рисунок 3 – Области коррозионных повреждений (черные) и неповрежденные (светлые) области алюминий-цинкового покрытия «Гальфан» при разном увеличении

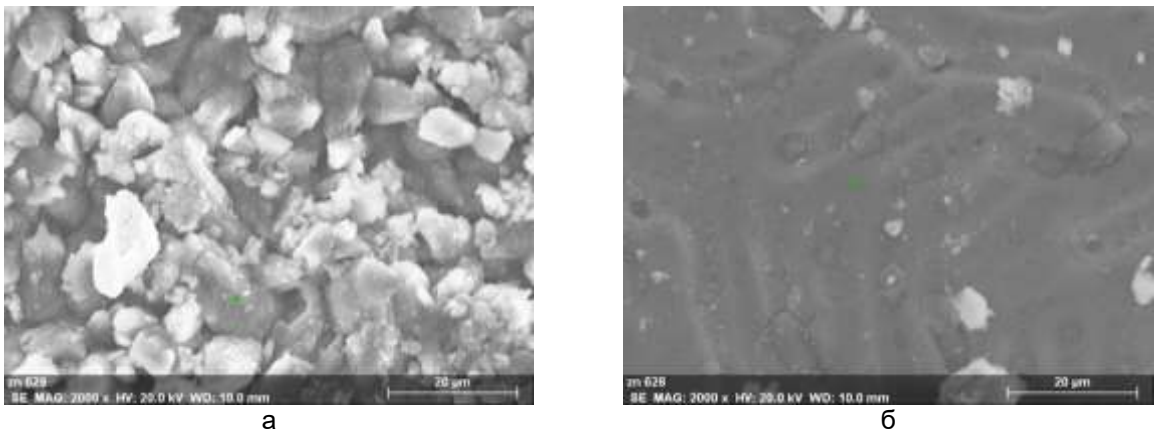
Figure 3 - Areas of corrosion damage (black) and undamaged (light) areas of aluminum-zinc coating "Galfan" at different magnification

Структура границы области повреждений, расположенная рядом с неповреждёнными областями, представлена на рисунке 3.

Исследования, проведенные при помощи растровой электронной микроскопии (РЭМ) с применением энергодисперсионного анализа (ЭДА), показали, что микроструктура повреждённых коррозией участков покрытия представлена микрокристаллическими образованиями, состоящими, вероятнее всего, из оксидов алюминия (рисунок 4, *а*), тогда как области, не затронутые коррозией, имеют

микроструктуру, характерную для алюминий-цинкового покрытия (рисунок 4, *б*).

Исследование химического состава в участках покрытия (таблица 2), подверженных коррозии (чёрные пятна), показали, что в них почти полностью отсутствует цинк (неповреждённые участки покрытия содержат порядка 36 % цинка по данным ЭДА, в то время как повреждённые коррозией участки содержат всего порядка 1 % цинка). В то же время повреждённые участки содержат до 70 % кислорода, тогда как в неповреждённых участках его всего порядка 5 %. Это подтверждает вывод, сделанный на основании исследования микроструктуры повреждённых участков покрытия, что они состоят из оксидов алюминия.



а б

Рисунок 4 – Микроструктура поврежденной коррозией (а) и неповрежденной (б) областей алюминий-цинкового покрытия «Гальфан»

Figure 4 - Microstructure of corrosion-damaged (a) and intact (b) areas of aluminum-zinc coating "Galfan"

Таблица 2 – Элементный состав областей покрытия «Гальфан», представленных на рисунке 4

Table 2 - Elemental composition of the Galfan coating areas shown in Figure 4

Элемент	Участок с коррозией (рисунок 4, *а*)		Участок без коррозии (рисунок 4, *б*)	
	вес. %	ат. %	вес. %	вес. %
Кислород	57,74	69,59	2,43	5,14
Алюминий	37,25	26,62	56,80	71,33
Железо	1,29	0,44	3,05	1,85
Цинк	1,24	0,36	36,40	18,86
Кремний	2,48	2,99	1,32	2,82

Проведённые исследования показали, что появление пятен чёрного цвета на поверхности цинк-алюминиевого покрытия связаны с вытравливанием цинка из его состава и окислением в результате этого процесса алюминия во влажной кислой среде. Возникновение такой среды может быть связано с присутствием в окружающей атмосфере углекислого газа [4, 9–10]. Выявить конкретные причины этого явления не представляется возможным из-за отсутствия данных об условии транспортировки исследованной рифлёной стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Dutra, C.A.M., Codaro, E.N. & Nakazato, R.Z. (2012). Electrochemical Behavior and Corrosion Study of Electrodeposits of Zn and Zn-Fe-Co on Steel *Materials Sciences and Applications.* 3 (6), 348-354.

2. Myeong, H.L., Yeon, W.K., Kyung, M.L., Seung, H.L. & Kyung, M.M. (2013). Electrochemical evaluation of zinc and magnesium alloy coatings deposited on electrogalvanized steel by PVD. *Trans. Nonferrous Met. Soc*. China, (23), 876-880.

3. Amini, R., Obidov, Z., Ganiev, I. & Razazi, M. (2012). Potentiodynamical Research of Zn-Al-Mg Alloy System in the Neutral Ambience of NaCl Electrolyte and Influence of Mg on the Structure. *Journal of Sur-*

face Engineered Materials and Advanced Technology, 2 (2), 110-114.

4. Panossian, Z., Mariaca, L., Morcillo, M., Flores, S., Rocha, J., Peña, J.J., Herrera, F., Corvo, F., Sanchez, M., Rincon, O.T., Pridybailo, G. & Simancas, J. (2005). Steel cathodic protection afforded by zinc, aluminium and zinc/aluminium alloy coatings in the atmosphere. *Surface and Coatings Technology*, 190 (2-3). 244-248.

5. Najafabadi, R.A., Irani, M., Ganiev, I., Obidov, Z., Galfan I and Galfan II (2014). Doped with calcium. *Corrosion Resistant Alloys, Orient J Chem*, 30(3).

6. Persson, D., Thierry, D., Le Bozec, N. (2011). Corrosion product formation on Zn55Al coated steel upon exposure in a marine atmosphere. *Corrosion Science*, 53(2), 720-726.

7. Jiang, G., Liu, G., Shang, T., Qiu, W. (2019). Corrosion Properties of Steel Sheet with Zinc-Base Alloy Coatings. *In: The Minerals, Metals & Materials Series (eds) TMS 2019 148th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings, The Minerals, Metals & Materials Series*, Springer, Cham. https://doi,org/10,1007/978-3-030-05861-6_93.

8. Yang, Z., Li, M., Li, Q., Zhang, J., Yuan, X., Wu, G. (2013). Effect of Bath Temperature on Corrosion Behavior of Hot-Dipped 55%Al-Zn-1,6%Si Coated Steel Sheet in NaCl Solution. *EIS-2013*, 217-222. DOI: 10.1002/9781118663547.ch28.

9. Lachowicz, M.M., Lachowicz, M.B. (2017). Intergranular Corrosion of the as Cast Hypoeutectic Zinc-Aluminium Alloy. Archivesof Foundry Engineering. 3 (17) DOI: 10.1515/afe-2017-0095.

10. Elvins, J., Sullivan, J.H., Spittle, J.A., Worsley, D.A. (2005). Short term predictive testing for cut edge corrosion resistance in zinc-aluminium alloy galvanised steels. Corrosion Engineering, *Science and Technology.* 40(1). DOI 10.1179/174327805X29796.

Информация об авторах

М. А. Гурьев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. А. Бердыченко – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Современные специальные материалы» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. М. Гурьев – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Начертательная геометрия и графика» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, профессор Уханьского текстильного университета (КНР).

С. Г. Иванов – доктор технических наук, заведующий лабораторией Центра коллективного пользования лабораторно-исследовательским оборудованием Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. В. Дьяченко – научный сотрудник ФГБУН Института водных и экологических проблем СО РАН.

Н. С. Малыгина – кандидат географических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Института водных и экологических проблем СО РАН.

Information about the authors

M. A. Guryev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, Polzunov Altai State Technical University.

A. A. Berdychenko - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

A. M. Guryev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Descriptive Geometry and Graphics, Polzunov Altai State Technical University, Professor of the Wuhan Textile University (CNR).

S. G. Ivanov - Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of the Center for Shared Use of Laboratory and Research Equipment, Polzunov Altai State Technical University.

A. V. Dyachenko - Researcher at the Institute of Water and Environmental Problems.

N. S. Malygina - Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher at the Institute of Water and Environmental Problems.

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

Статья поступила в редакцию 29.10.2021; одобрена после рецензирования 14.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 29 Oct 21; approved after reviewing on 14 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 151 – 156.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 151–156.

Научная статья
05.16.09 – Материаловедение (по отраслям), технические науки
УДК [621.744+621.778.2]:624.016
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.020

БАЛЛОНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Виктор Борисович Маркин [1], Наталья Андреевна Мягкова [2]

[1, 2] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[1] mvb1942@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7731-3895
[2] kafedra-n@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9046-2852

Аннотация. *Применение газовых топливных систем позволит решить ряд экологических задач, стоящих перед автомобилестроением, существенно сократить расходы потребителей на топливо и увеличить ресурс двигателя. Основой такой модернизации следует считать разработку, расчет, конструкторскую привязку и технологическую обеспеченность производства баллонов давления как емкостей для сжатого или сжиженного природного газа. С целью снижения веса баллонов предпочтение отдается полимерным композиционным материалам, использующим в технологии изготовления методы намотки армирующих волокон, совмещенных с полимерным связующим.*

Ключевые слова: *баллоны давления, композиционный материал, армирующие волокна, полимерное связующее, лейнер, топливная система, экономическое обоснование.*

Благодарность: *авторы выражают признательность за финансовую поддержку исследования РФФИ и Администрацией Алтайского края в рамках научного проекта «Физико-химические основы создания и исследований композиционных материалов и технологии изготовления композитных баллонов давления на их основе», №18-48-220008-р-а.*

Для цитирования: Маркин, В. Б., Мягкова, Н. А. Баллоны высокого давления для газотопливной системы из композиционных материалов // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 151–156. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.020.

Original article

COMPOSITE HIGH PRESSURE CYLINDERS MATERIALS

Victor B. Markin [1], Natalia A. Myagkova [2]

[1, 2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[1] mvb1942@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7731-3895
[2] kafedra-n@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9046-2852

Abstract. *Use of gas fuel systems will allow to carry out the ecological tasks facing the Russian automotive industry, it is essential to cut down expenses of consumers on fuel and to increase an engine resource. As a basis of such modernization it is necessary to consider development, calculation, a design binding and technological security of production of cylinders of pressure as capacities for the compressed or liquefied natural gas. For the purpose of weight reduction of cylinders the preference is given to the polymeric composite materials using methods of winding of the rein.*

Keywords: *pressure cylinders, composite material, reinforcing fibres, polymer binder, liner, fuel system, economic justification.*

Acknowledgements: *the authors express their gratitude for the financial support of the RFBR research and the Administration of the Altai Territory within the framework of the scientific project "Physico-chemical foundations for the creation and research of composite materials and technology for the manufacture of composite pressure cylinders based on them", No. 18-48-220008-r-a.*

For citation: Markin, V. B. & Myagkova, N. A. (2021). Composite high pressure cylinders materials. *Polzunovskiy vestnik,* (4), 151-156. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.020.

© Маркин, В. Б., Мягкова, Н. А., 2021

ВВЕДЕНИЕ

Российское автомобилестроение развивается по нескольким направлениям: осуществление сборки известных марок зарубежных автомобилей и выпуск новых моделей отечественных автомобилей, например, серии Лада (Lada Kalina, Lada Priora, Lada Granta, Lada Vesta, Lada Largus). Одним из путей повышения конкурентоспособности российских автомобилей является улучшение экологических характеристик и снижение затрат на топливо. Данное направление можно развивать без крупных затрат на закупку новых технологий и оборудования, расширения объемов продаж, используя переход на новые потребительские качества и выполнение ограничений по выбросам опасных газообразных продуктов. Обозначенные выше направления совершенствования возможны за счет применения газобаллонной аппаратуры с баллонами давления из композиционных материалов.

Преимущество газового топлива заключается, прежде всего, в том, что оно сгорает полнее бензина, поэтому концентрация окиси углерода и других газов в выхлопе автомобиля существенно ниже, чем в выхлопе бензинового автомобиля (рисунок 1).

Кроме того, сжатый природный газ в несколько раз безопаснее бензина в процессе эксплуатации, а также и взрывоопасного сжиженного газа (пропан-бутана). Он легче воздуха и в случае утечки улетучивается, при этом максимально допустимая концентрация газа в воздухе, необходимая для инициирования взрыва, составляет от 5 до 18 процентов, а для бензина этот показатель составляет 70 процентов, что говорит о невозможности взрыва больших масс газа в случае утечки внутри автомобиля.

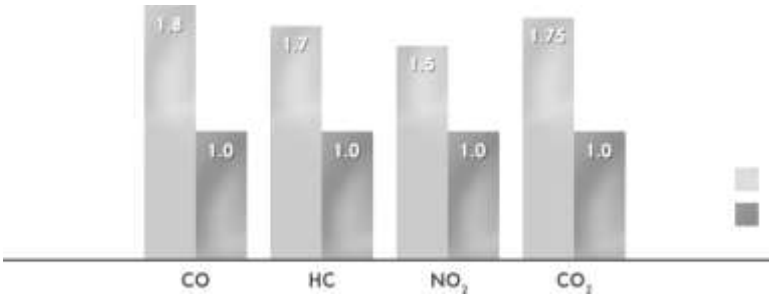


Рисунок 1 – Сравнение выбросов CO, HC, NO_2 и CO_2 при использовании бензина (1) и газа (2)

Figure 1 - Comparison of CO, HC, NO_2 and CO_2 emissions when using petrol (1) and gas (2)

На фоне развивающегося в настоящее время использования гибридных и электромобилей следует считать, что сжатый и сжиженный природный газ остаются топливом будущего. Уже сегодня создаются максимальные условия для распространения этого вида топлива повсеместно. Эта тенденция существует и в Европе, которую волнуют две проблемы: экологичность топлива и его экономичность. Для развития рынка газомоторного топлива в России существуют благоприятные предпосылки: газотранспортная система, невысокая стоимость природного газа по сравнению с традиционными видами топлива и, наконец, большие запасы газа.

На сегодняшний день можно констатировать, что в Российской Федерации существует производство автомобилей, двигатели которых работают на альтернативных видах топлива (Lada Vesta CNG и Lada Largus CNG). Среди таких видов топлива наибольший интерес представляет природный газ (метан), который имеет достаточно низкую себестоимость, его цена более привлекательна по отношению к традиционным видам топлива, а энергетическая эффективность в сравнении с бензином АИ95 соответствует значениям АИ140 (например, одному литру бензина с октановым числом АИ92 соответствует примерно 0,8 м^3 сжатого газа с октановым числом АИ140). Следовательно, применение в качестве топлива природного сжатого газа позволяет решать несколько задач: повысить экологические характеристики отечественных автомобилей, резко от 3-х до 10 раз сократить расходы потребителей на топливо, в 1,5–1,8 раз увеличить ресурс двигателя.

Существует ряд требований к технологии изготовления баллонов высокого давления. Баллоны для природного компримированного газа, используемого в качестве топ-

лива для транспортных средств, должны быть максимально легкими и в то же время соответствовать требованиям безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Поэтому для эффективной работы конструкции баллона давления необходим правильный подбор материала и технологии его изготовления. При их выборе следует руководствоваться принципом оптимальности и рассматривать не только существующие материалы, но и возможность их модернизации, а также возможность создания новых материалов, которые будут спроектированы под конкретно заданные условия работы.

Для производства баллонов высокого давления необходимо решение следующих задач:

- исследование напряженно-деформированного состояния баллонов;
- подбор связующего и армирующего наполнителя для композитной оболочки баллона высокого давления;
- оптимизация конструкции баллона по форме и массе с изменением технологии изготовления;
- подбор технологии модификации компонентов с целью улучшения качества адгезионного взаимодействия;
- подбор технологических параметров изготовления оправки для намотки силовой оболочки баллона;
- подбор технологических параметров процесса намотки, пропитки и полимеризации композитного слоя баллона высокого давления;
- анализ основных технико-экономических показателей производства баллонов высокого давления, а также его себестоимости;
- анализ экологической безопасности технологического процесса изготовления баллонов.

Исходя из условий работы, к конструкции баллона давления из композиционных материалов предъявляется ряд требований:

- обеспечение безопасной эксплуатации;
- удовлетворение прочностных характеристик;
- обеспечение оптимальности, при которой целевой функцией выступает минимизация массы баллона давления;
- технологичность конструкции, которая подразумевает под собой взаимосвязь и взаимообусловленность изделия, технологии производства, условий хранения и эксплуатации.

Общеизвестно, что полимерные композиты негерметичны, поэтому конструкции из них в зависимости от уровня исходных требований включают в себя дополнительные герметизирующие слои, оболочки и т.п. Герметизирующую оболочку (лейнер), как правило, используют в качестве оправки для намотки слоев силовой оболочки.

Оригинальные конструкторско-технологические решения, положенные в основу создания герметичной полимерной оболочки (лейнера), усиленной стекловолокном (или углеродным волокном), позволяют снизить массу баллонов в 5 раз по сравнению с металлическим, повысить коррозионную стойкость, устойчивость к воздействию агрессивных сред, пожарную и взрывобезопасность и гарантировать безосколочность разрушения. Циклическая долговечность – более 15000 циклов нагружения, коэффициент запаса прочности после проведения циклических испытаний – не менее 2,6; рабочий интервал температур – от минус 40 ºС до плюс 80 ºС; срок службы – не менее 10 лет.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектировочный расчет газового баллона сводится к определению проектных параметров конструкции, обеспечивающих удовлетворение следующих условий:

- минимальная масса проектируемой конструкции;
- сохранение требуемой прочности и жесткости при действии расчетных нагрузок;
- технологическая реализуемость;
- обеспечение минимальной стоимости баллона.

Основными параметрами баллона, определяемыми в процессе проектирования, являются:

- контуры днищ оболочки;
- распределение углов армирования волокном;
- количество слоев армирующего материала, образующих силовую оболочку.

Основные нагрузки, возникающие в баллоне под действием внутреннего давления, приведены на рисунке 2, а зависимость формы контура баллона при различных значениях параметра λ, определяющего форму меридиана оптимальной оболочки, – на рисунке 3.

Приведенные зависимости используются на начальном этапе проектирования при определении геометрических характеристик оптимального баллона, которые на следующем этапе позволяют установить характеристики прочности и жесткости по величине максимального эксплуатационного давления *P*, составляющего 29,4 МПа.

Напряжения в кольцевых слоях материала на цилиндрической части оболочки определяются по соотношению, связывающему внутреннее давление (*p*) и его вклад в спиральную составляющую силовой оболочки толщиной $h_{СП}$ и кольцевой составляющей $h_К$:

$$\sigma_К = \frac{pa - \sigma_{СП} h_{СП}^{ф} sin^2 \varphi_a}{h_К^{ф}}.$$

Здесь φ_a – угол армирования на цилиндрической части оболочки радиусом *a*.

R – радиус цилиндрической части баллона

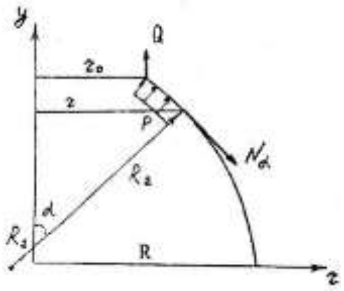


Рисунок 2 – Распределение нагрузок в силовой оболочке в зависимости от координат:
P – внутреннее давление;
R1, R2 – главные радиусы кривизны оболочки;
Q – осевая сила;
R – радиус цилиндрической части баллона

Figure 2 - Distribution of loads in the force shell depending on the coordinates: P - internal pressure; R1, R2 are the main radii of curvature of the shell; Q - axial force; R - radius of the cylindrical part of the cylinder

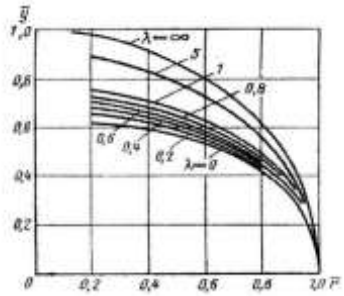


Рисунок 3 – График зависимости формы контуров баллона при различных параметрах λ для угла укладки волокна на экваторе φ = 7°49’: ȳ и r̄ – безразмерные координаты, отнесенные к величине радиуса экватора R

Figure 3 - Graph of the dependence of the shape of the balloon contours at various parameters λ for the angle of the fiber at the equator φ = 7 ° 49 ’: ȳ and r̄ - dimensionless coordinates related to the value of the equatorial radius R

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изготовление композитных баллонов высокого давления проводилось методом «мокрой» намотки армирующих волокон: стеклянных (стеклоровинг РВМН 19-1480-80), углеродных (жгут «Торнел Т700»), базальтовых (ровинг НБР-19-1200-КВ42), совмещенных с эпоксидным связующим ЭДУ на металлический или пластиковый лейнер. Для намотки использовался намоточный станок WM2.800 (рисунок 4). Отверждение изделий проводилось по стандартной методике с применением автоматизированной системы управления тепловым процессом [5].

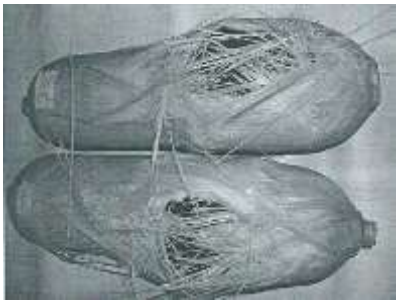
На рисунке 5 приведены фотографии металлокомпозитных баллонов БК-7 до испытания (а) и после разрушения (б) при троекратном превышении внутреннего давления.

Одновременность создания материала и конструкции из полимерных композитов определяют необходимость серьезной материаловедческой проработки, использования самых передовых методов модификации материалов на уровне компонентов, а также исследования структурообразования, направленного на оптимизацию свойств материала в конструкции.

Рисунок 4 – Технологический процесс спиральной намотки баллонов давления

Figure 4 - Technological process spiral wound pressure cylinders

а)



б)

Рисунок 5 – Металлокомпозитные баллоны высокого давления
до разрушающего испытания (а)
и после испытания при давлении 80 Мпа (б)

Figure 5 - High pressure metal composite cylinders
before destructive test (a)
and after testing at pressure 80 MPa (b)

В таблице 1 представлены данные по композитным баллонам высокого давления, в которых использовались металлические и пластиковый лейнеры, а силовые оболочки были выполнены из стеклопластика, углепластика и базальтопластика. Баллоны рассчитаны на рабочее давление 29,4 МПа.

Таблица 1 – Результаты испытания композитных баллонов высокого давления

Table 1 - Results of testing composite high pressure cylinders

Лейнер		Силовая оболочка	Давление разрушения, МПа
Материал	Масса, кг		
Сталь	1,5	Углепластик	81,0
Сталь	1,5	Стеклопластик	78,0
Сталь	1,5	Базальтопластик	80,0
Полипропилен	0,4	Стеклопластик	65,0

ВЫВОДЫ

Масса композитных баллонов с металлическим лейнером не превышает 3 кг. При использовании в качестве силовой оболочки углепластика масса баллона снижается до 1,8 кг при том же рабочем давлении 29 МПа.

Металлокомпозитные баллоны высокого давления имеют практически трехкратный запас прочности, что позволяет повысить срок их эксплуатации до 10 и более лет при обязательном контроле и обслуживании. Характер разрушения баллонов при достижении критического давления безосколочный.

Экономическая эффективность применения композитных баллонов для газотопливных автомобильных систем определяется двумя основными критериями: количеством продаж автомобилей и стоимостью топлива. Переход на двухтопливную систему имеет ряд предпосылок для развития газомоторного рынка:

- низкая себестоимость метана, его привлекательная цена относительно традиционных видов топлива и значительные запасы природного газа (метана) в России;
- нестабильная ситуация на нефтяном мировом рынке;
- природный газ менее взрывоопасен по сравнению со сжиженным газом;
- применение природного газа снижает темпы износа двигателя;
- существенное снижение массы баллона и повышение его рабочего давления.

Таким образом, полимерные композиционные материалы находят все большее применение в современном машиностроении, способствуют значительному снижению металлоемкости и материалоемкости изделий и конструкций. Можно считать эти материалы материалами XXI века, соответствующими уровню пятого технологического уклада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газ топливный компримированный для двигателей внутреннего сгорания. Технические условия: ГОСТ 27577-20007. Введ. 2002-01-01. М. : Изд-во стандартов, 2002. III. 8 с.

2. Усошин В.А., Семенюга В.В. Современные тенденции проектирования и производства баллонов для компримированного природного газа // Национальная газомоторная ассоциация. 2001. № 4. С. 5–14.

3. Воробей В.В., Маркин В.Б. Основы проектирования и технология сверхлегких композитных баллонов высокого давления : монография. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2014. 166 с.

4. Воробей В.В., Маркин В.Б. Основы технологии и проектирование корпусов ракетных двигателей. Новосибирск : Наука, 2003. 164 с.

5. Маркин В.Б., Сагынганова И.К. Организация конвейерного выполнения задач в распределенных автоматизированных системах управления теплопунктов // Известия национальной академии наук Республики Казахстан. 2019. №1. С. 63–67.

6. Блазнов А.Н., Маркин В.Б. и др. Перспективы создания композитных баллонов // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности : материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2018. С. 80–88.

7. Маркин В.Б., Ананьева Е.С., Новиковский Е.А. Композиционные материалы в современном машиностроении // Central-Asian Material Science Journal. № 1. 2015. С. 45–50.

REFERENCES

1. Compressed fuel gas for internal combustion engines. Specifications. (2002). HOST 27577-20007. Moscow : Publishing house of standards. (In Russ.).

2. Usoshin, V.A. & Semenyuga V.V. (2001). Modern trends in the design and production of cylinders for compressed natural gas. *National Gas Engine Association*, (4), 5-14. (In Russ.).

3. Vorobey, V.V. & Markin V.B. (2014). Fundamentals of design and technology of ultra-light composite high-pressure cylinders: monograph. Barnaul : AltGTU Publishing House. (In Russ.).

4. Vorobey, V.V. & Markin V.B. (2003). Fundamentals of technology and design of rocket engine casings. Novosibirsk: Nauka. (In Russ.).

5. Markin, V.B. & Sagynganova, I.K. (2019). Organization of conveyor execution of tasks in distributed automated control systems of heating points. *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, (1), 63-67. (In Russ.).

6. Blaznov, A.N., Markin, V.B. and other. (2018). Prospects for the creation of composite cylinders. *Technologies and equipment for chemical, biotechnological and food industries : Materials of the XI All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists with international participation*. Barnaul: ASTU. (In Russ.).

7. Markin, V.B., Ananyeva, E.S. & Novikovskiy, E.A. (2015). Composite materials in modern mechanical engineering. *Central-Asian Material Science Journal,* (1), 45-50. (In Russ.).

Информация об авторах

В. Б. Маркин – доктор технических наук, профессор, руководитель Учебно-научно-производственного центра «Композит» Алтайского государственного технического университета.

Н. А. Мягкова – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и производственный менеджмент» Алтайского государственного технического университета.

Information about the authors

V. B. Markin - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Educational, Scientific and Production Center "Composite", Polzunov Altai State Technical University.

N. A. Myagkova - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Production Management, Polzunov Altai State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 26.10.2021; одобрена после рецензирования 14.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 26 Oct 21; approved after reviewing on 14 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 157–162.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 157–162.

Научная статья
05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 620.22-419.8:678.686-047.37
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.024

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКА

Сергей Валерьевич Морозов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
sergcska@yandex.ru,https://orcid.org/0000-0003-3850-3984

Аннотация. *Улучшение физико-механических свойств композиционных материалов путем модификации связующего является одной из актуальных задач в области материаловедения. В данной работе проведен анализ изменения физико-механических свойств стеклопластика при физической модификации эпоксидного связующего. Предыдущие исследования [1] показали, что оптимальным значением физической модификации эпоксидного связующего является введение в качестве модификатора талька в количестве 3 % от общей массы композиции. Также был определен оптимальный режим отверждения дисперснонаполненной композиции. Исходя из этого были изготовлены модифицированные и не модифицированные образцы стеклопластика. Испытания модифицированных и не модифицированных образцов стеклопластика на растяжение, трехточечный изгиб и трещиностойкость показали увеличение ударной вязкости на 31 %, предела прочности на растяжение – на 82,5 %, предела прочности на изгиб – более чем в 4 раза и трещиностойкости – более чем в 2,5 раза. Проведенные в данной работе исследования показали эффективность физической модификации эпоксидного связующего тальком при оптимальной степени наполнения и режима отверждения стеклопластика.*

Ключевые слова: *эпоксидные связующие; физико-механические характеристики; предел прочности при растяжении; тальк; композиционный материал.*

Для цитирования: *Морозов, С. В. Влияние физической модификации эпоксидного связующего на физико-механические свойства стеклопластика* // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 157–162. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.024.

© Морозов, С. В., 2021

Original article

EFFECT OF PHYSICAL MODIFICATION OF THE EPOXY BINDER ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FIBERGLASS

Sergey V. Morozov

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
sergcska@yandex.ru,https://orcid.org/0000-0003-3850-3984

Abstract. *Improving the physical and mechanical properties of composite materials by modifying the binder is one of the urgent tasks in the field of materials science. In this paper, the analysis of changes in the physical and mechanical properties of fiberglass during the physical modification of the epoxy binder is carried out. Previous studies [1] have shown that the optimal value of the physical modification of the epoxy binder is the introduction of talc as a modifier in an amount of 3% of the total mass of the composition. The optimal curing mode of the dispersed-filled composition was also determined. Based on this, modified and non-modified samples of stackplastic were made. Testing of modified and non-modified fiberglass samples for tensile strength, three-point bending and crack resistance showed an increase in impact strength by 31%, tensile strength by 82.5%, bending strength by more than 4 times and crack resistance by more than 2.5 times. The studies carried out in this work have shown the effectiveness of physical modification of the epoxy binder with talc at the optimal degree of filling and the curing mode of fiberglass.*

Keywords: *epoxy binders; physical and mechanical characteristics; tensile strength; talc; composite material.*

For citation: Morozov, S. V. (2021). The effect of physical modification of the epoxy binder on the physical and mechanical properties of fiberglass. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 157-162. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.024.

ВВЕДЕНИЕ

Эпоксидные полимеры являются наиболее часто применяемыми термосетчатыми полимерами при изготовлении композиционных материалов, использующихся в различных областях промышленности (авиа-, вертолето-, автомобиле- и приборостроении, электронике, строительстве, производстве лакокрасочных материалов и т. п.). Столь широкая сфера применения обусловлена большим ассортиментом эпоксидных олигомеров разных классов, возможностью варьирования типом, природой отвердителя и условиями процесса отверждения. Подавляющее большинство материалов на основе эпоксидных олигомеров (смол) являются прочными, жесткими, химически и термически стойкими, и в то же время отличаются хрупкостью. Между тем, во многих случаях требования к полимерному материалу включают сочетание ударной и механической прочности и достаточной теплостойкости. В частности, отечественное авиастроение нуждается в новых связующих для композитов при изготовлении деталей самолетов. В связи с этим насущной задачей является разработка способов модификации эпоксидных смол для получения в дальнейшем на их основе полимеров и композитов с улучшенными физико-механическими свойствами.

Для улучшения физико-механических свойств связующего в данной работе использовалась физическая модификация эпоксидного связующего. В основе физической модификации заложены представления о том, что физико-технические свойства макрокомпозитов можно регулировать путем изменения фильности поверхности заполнителей и устройства эластичных слоев по их поверхности. Принято считать, что различная удаленность точек, лежащих на поверхностях раздела фаз у матрицы и заполнителей, ведет к возникновению градиентов усадочных напряжений и деформаций по величине и направлению. Границы раздела матрицы и заполнителей образуют внутри макроструктуры композита своеобразные «усадочные ячейки». Объем и форма ячеек зависят от соотношения когезионной и адгезионной прочностей матрицы, числа фракций, количества и упаковки заполнителей. Образовавшиеся ячейки разбивают структуру полимерного композита на отдельные блоки почти равных размеров, взаимодействующие через поверхности раздела и группирующиеся в более крупные блоки следующего масштабного уровня. Усадочные деформации структурных блоков вызывают

деформации и напряжения на поверхностях раздела. Это приводит к нарушению сплоченности матрицы и появлению зародышевых трещин. Такие трещины опасны для структур более низкого масштабного уровня. Зарождение трещин происходит по межкластерным поверхностям, т.к. разрыв сплоченности энергетически выгоден и более вероятен по ослабленным местам структуры. К методам структурно-физической модификации можно отнести метод легирования малыми добавками химически не связанных с основным веществом соединений (жидких мономеров и олигомеров), локализующимися в дефектах структуры и заполняющими микропоровое пространство термореактивной сетки [2–3].

В данной работе была проведена физическая модификация эпоксидного связующего дисперсными наполнителями.

Дисперсные наполнители – наиболее распространенный вид наполнителей полимерных композиционных материалов в качестве которых выступают разнообразные вещества органической и неорганической природы. Одним из основных назначений дисперсных наполнителей является снижение стоимости и улучшение свойств композиций. В основном это порошкообразные вещества с различным размером частиц – от 2–10 до 200–300 мкм. Обычно размер частиц не превышает 40 мкм, однако в последнее время используются частицы размером менее 1 мкм для создания нанокомпозитов. Содержание дисперсных наполнителей в ПКМ меняется в широких пределах – от нескольких процентов до 70–80 %. Такие полимерные композиционные материалы, как правило, изотропны, однако асимметрическая форма частиц при условии заметной ориентации в процессах переработки может приводить к возникновению некоторой анизотропии свойств: последняя более характерна для волокнистых наполнителей [4].

К числу важнейших требований, предъявляемых к дисперсным наполнителям, относятся способность совмещаться с полимером или диспергироваться в нем, хорошая смачиваемость расплавом или раствором полимера, отсутствие склонности к агломерации частиц, однородность их размера, а также низкая влажность (как правило, необходима сушка) [4].

Для улучшения смачивания наполнителя полимером, улучшения адгезии, снижения склонности частиц к агломерации поверхность порошкообразных наполнителей часто обрабатывают поверхностно-активными веществами. Улучшению адгезии на поверхности раздела «наполнитель–полимер» могут способствовать также реакционноспособные функциональные группы, имеющиеся в наполнителе или специально сформированные [5].

В качестве дисперсного наполнителя был выбран тальк в количестве 3 % от общей массы композиции, так как он показал наилучшие результаты по сравнению с другими наполнителями по улучшению физико-механических характеристик эпоксидного связующего [1].

Тальк – минерал из класса силикатов, кристаллическое вещество, представляющее собой жирный на ощупь рассыпчатый порошок белого (изредка зелёного) цвета [4].

Тальк (гидратированный силикат магния) получается из ряда природных пород путем обогащения, дробления, измельчения (тонкого помола) и фракционирования. Представляет собой тонкоизмельченный порошок белого цвета с пластинчатыми частицами различного размера (от 10 до 70 мкм). Благодаря пластинчатой форме частиц тальк придает наполненным материалам повышенную жесткость. Применение талька при правильном подборе дисперсного состава, поверхностной обработки позволяет избежать характерной для наполнения дисперсными частицами снижения стойкости к ударным нагрузкам.

ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении исследований использовались материалы и режим отверждения, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Материалы и режим отверждения для изготовления образцов не модифицированного стеклопластика

Table 1 - Materials and curing mode for the production of samples of non-modified glass-plastic

Наполнитель	Связующее на основе эпоксидной смолы ЭД-20	Режим отверждения
Стеклоткань конструкционная Т-14 (объемная доля V = 0,7)	Смола ЭД-20 с отвердителем ПЭПА в соотношении 10:1 (объемная доля V = 0,3)	Двухступенчатый нагрев после пропитки ткани Т-14. Сначала нагрев до 80 ºС, затем до 100 ºС, скорость возрастания температуры 2,5 ºС, время выдержки 2 часа с последующим охлаждением в печи

Таблица 2 – Материалы и режим отверждения для изготовления образцов модифицированного стеклопластика

Table 2 – Materials and curing mode for the production of samples of modified glass-plastic

Наполнитель	Связующее на основе эпоксидной смолы ЭД-20	Режим отверждения
Стеклоткань конструкционная Т-14 (объемная доля V = 0,7)	Смола ЭД-20 с введенным в качестве модификатора тальком в количестве 3 % от общей массы смолы с отвердителем ПЭПА в соотношении 10:1 (объемная доля V = 0,3)	Двухступенчатый нагрев, после пропитки ткани Т-14. Сначала нагрев до 80 ºС, затем до 100 ºС, скорость возрастания температуры 2,5 ºС, время выдержки 2 часа с последующим охлаждением в печи

После изготовления образцов были проведены следующие виды испытаний: на ударную вязкость, на растяжение, на техточечный изгиб и на трещиностойкость.

Для испытаний на ударную вязкость было изготовлено по шесть образцов из не модифицированного и модифицированного стеклопластика. Испытания проводились по ГОСТ Р 57715-2017 на испытательной машине маятникового типа. Сущность метода заключается в разрушении консольно-закрепленного образца ударом маятника поперек образца на определенном расстоянии от места закрепления [6].

Для испытаний на растяжение было изготовлено по шесть образцов из не модифицированного и модифицированного стеклопластика. Испытания проводились по ГОСТ 32656-2014 на испытательной машине марки 3369 фирмы Instron. К образцу прикладывалась растягивающая нагрузка, вектор которой совпадал с его основной осью, с постоянной скоростью до тех пор, пока не произойдет разрушения образца или пока напряжение (нагрузка) или деформация (растяжение) не достигнут заданного значения. Во время проведения испытания измерялась нагрузка и удлинение образца [7].

Для испытаний на трещиностойкость было изготовлено по три образца из не модифицированного и модифицированного стеклопластика.

Испытания проводились по ГОСТ Р 56740-2015 на испытательной машине, обеспечивающей растяжение образцов с постоянной (регулируемой) скоростью перемещения активного захвата и измерение нагрузки с погрешностью не более 1 % от измеряемой величины.

Сущность метода заключается в испытании образцов с предварительно нанесенной краевой усталостной трещиной (надрезом) растягивающей внецентренной нагрузкой. При этом регистрируют значения смещения берегов трещины в зависимости от нагрузки. Характеристику межслоевой вязкости разрушения рассчитывают по нагрузке, соответствующей заданному значению нормализованного размера трещины. Испытываемые композиционные материалы не ограничены по толщине или по типу полимерной матрицы или волокна. Данная методика испытаний подходит для испытаний стеклопластиков с эпоксидной матрицей, стеклопластиков с полиэфирной матрицей, а также с углепластиков, слоистых материалов и других материалов [8].

Для испытаний на трехточечный изгиб было изготовлено по шесть образцов из не модифицированного и модифицированного стеклопластика. Испытания проводились по ГОСТ Р 56810-2015 на испытательной машине, обеспечивающей нагружение образца с заданной постоянной скоростью перемещения активного захвата (траверсы) и позволяющей проводить измерение нагрузки с точностью ±1 % измеряемой величины. Испытательная машина снабжена траверсой, по которой могут перемещаться две опоры, и нагружающим пуансоном при трехточечном нагружении. Сущность метода заключается в изгибе плоского образца постоянного прямоугольного сечения, свободно лежащего на двух опорах, с постоянной скоростью нагружения до момента разрушения образца или до того момента, когда деформация растяжения на внешней поверхности образца достигнет предварительно заданного значения [9].

В результате проведенных испытаний были получены результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты проведенных испытаний образцов стеклопластика

Table 3 -The results of the tests of fiberglass samples

Содержание модификатора в связующем, %	Ударная вязкость, кДж/м^2	Предел прочности на растяжении, МПа	Коэффициент трещиностойкости, МПа·м	Предел прочности на трехточечный изгиб, МПа
0	124,57±0,02	107,37±5,37	0,62±0,031	114,81±5,74
3	163,35±0,03	195,90±9,79	1,50±0,075	483,74±10,19

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали эффективность физической модификации эпоксидного связующего тальком. В результате проведенных испытаний модифицированных и не модифицированных образцов стеклопластика на ударную вязкость, растяжение, трехточечный изгиб и трещиностойкость можно отметить увеличение ударной вязкости на 31 %, предела прочности на растяжение на 82,5 %, предела прочности на изгиб более чем в 4 раза и трещиностойкости более чем в 2,5 раза. Эти результаты были достигнуты благодаря выбору оптимальной степени наполнения эпоксидного связующего, достижения равномерного распределения дисперсного наполнителя в связующем, оптимальным выбором природы дисперсного наполнителя и режима отверждения композиционного материала. Поэтому можно отметить, что при проведении физической модификации связующего необходимо учитывать большое количество факторов, влияющих на пригодность результатов исследования. В результате испытания показали перспективность продолжения исследований в данной области с целью получения необходимого комплекса физико-механических свойств стеклопластиков, на основе модифицированных эпоксидных связующих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование влияния состава эпоксидного связующего на его физико-механические характеристики / С.В. Морозов, Н.А. Павлов, М.Н. Зенин // Ползуновский вестник. 2020. № 1. С. 140–144. DOI: 10.25712/ASTU. 2072-8921.2020.01.027.

2. Кластеры в структуре и технологии композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, А.Н. Бобрышев, А.П. Прошин // Изв. Вузов. Сер. Строительство и архитектура. 1983. № 4. С. 56–61.

3. Карнаухова А.В., Огрель Л.Ю. Исследование термостойкости конструкционных стеклопластиков на эпоксидных связующих // Успехи в химии и химической технологии. 2002. Том XVI. № 3. С. 35–36.

4. Мошинский Л. Эпоксидные смолы и отвердители. Тель-Авив, Аркадия пресс Лтд, 1995. 370 с.

5. Влияние кремнийорганических модификаторов на структурные характеристики и эксплуатационные свойства полимеров / С.Н. Русанова, С.Ю. Софьина, О.В. Стоянов // Вестник Казанского технологического ун-та. 2008. № 5. С. 85–89.

6. ГОСТ Р 57715-2017 Композиты полимерные. Определение ударной вязкости по Изоду. Технические условия: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2017 г. № 1242-ст. : дата введения 01.02.2018. Москва : Стандартинформ, 2018.

7. ГОСТ 32656-2014 (ISO 527-4:1997, ISO 527-5:2009). Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение: Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 28 марта 2014 г. № 65-П): дата введения 01.09.2015. Москва : Стандартинформ, 2015.

8. ГОСТ Р 56740-2015 Композиты полимерные. Метод определения характеристики межслоевой вязкости разрушения многослойных и пултрузионных полимерных композитов. Технические условия: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 ноября 2015 г. № 1913-ст.: дата введения 01.01.2017. Москва : Стандартинформ, 2017.

9. ГОСТ Р 56810-2015 Композиты полимерные. Метод испытания на изгиб плоских образцов. Технические условия: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 ноября 2015 г. № 2067-ст.: дата введения 01.01.2017. Москва : Стандартинформ, 2017.

Информация об авторе

С. В. Морозов – кандидат технических наук, доцент кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Morozov, S.V., Pavlov, N.A. & Zenin, M.N. (2020). Investigation of the influence of the composition of an epoxy binder on its physical and mechanical. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 140-144. (In Russ.).

2. Solomatov, V.I., Bobryshev, A.N. &

Proshin, A.P. (1983). Clusters in the structure and technology of composite construction materials. *Izvestiya vuzov. Construction and architecture series,* (4), 56-61. (In Russ.).

3. Karnaukhova, A.V. & Ogrel, I.Yu. (2002). Research of heat resistance of structural fiberglass on epoxy binders. *Advances in chemistry and chemical technology*, 16(3), 35-36. (In Russ.).

4. Moshinsky, L. (1995). Epoxy resins and hardeners. Tel Aviv, Arcadia Press Ltd, 370 p.

5. Rusanova, S.N., Sofina, S.Yu. & Stoyanov, O.V. (2008). The influence of organosilicon modifiers on the structural characteristics and operational properties of polymers. *Vestnik of the Kazan technological university,* (5), 85-89. (In Russ.).

6. Polymer composites. (2017). Determination of the impact strength by Isode. *HOST R 57715-2017*. from 01.02.2018. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

7. Polymer composites. (2014). Test methods. Tensile tests. *HOST 2656-2014 (ISO 527-4:1997, ISO 527-5:2009)*. from 01.09.2015. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

8. Polymer composites. (2015). Method for determining the characteristics of the interlayer fracture toughness of multilayer and pultrusion polymer composites.HOST R 56740-2015. from 01.01.2017. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

9. Polymer composites. (2015). A method for testing the bending of flat samples.*HOST R 56810-2015.*from 01.01.2017. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

Information about the author

S. V. Morozov - candidate of technical sciences, associate professor of the department of modern special materials, Polzunov Altai State Technical University.

Статья поступила в редакцию 06.10.2021; одобрена после рецензирования 14.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 6 Oct 21; approved after reviewing on 14 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.

Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 163–172.
Polzunovskiy vestnik. 2021;4: 163–172.

Научная статья
05.16.09 – Материаловедение
УДК 620.22-419.8:678.046
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.022

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОС ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Снежана Александровна Хапёрских [1], Елена Сергеевна Ананьева [2]

[1, 2] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[1] snezhana_v@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2204-3469
[2] eleana2004@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5768-3912

Аннотация. *Защита поверхностей металлических изделий от износа представляет процесс адгезионного взаимодействия «металл – покрытие». Используемые покрытия металлических поверхностей, разнообразны, большую часть изготавливают на основе полимерных композиционных материалов. Авторами был проведен анализ дисперсно-наполненных композиционных материалов на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 с аминным отвердителем ПЭПА. В качестве наполнителей были использованы следующие порошки: минеральный порошок, оксид алюминия, кварцевый песок, графит, волластонит, стекловолокно и прочие.*

Использование изделий и оборудования (например, шнеков экструдера) в сельхозиндустрии подразумевает износ рабочих, трущихся поверхностей. Ввиду того, что испытания на износ материала требует значительного времени, в первую очередь было проведено исследование образцов на твердость (чем выше твердость, тем меньше истираемость).

Основываясь на физико-механических процессах на границе раздела «матрица – наполнитель», существует подтверждение о наличии межфазного слоя, который представляет собой недеформируемое тело. При исследовании композитов на твердость (по методу Бринелля) была поставлена задача: проанализировать не только наполнители, но и их объемную долю в матрице. В ходе анализа полученных зависимостей показателей твердости установлена зависимость показателя прочности от объемной доли дисперсного наполнителя. Это вызвано тем, что наполнитель упрочняет матрицу, а степень упрочнения зависит от формы его частиц, их количества и распределения. Исключением являются некоторые наполнители с высокой гигроскопичностью и низкой адгезией к матрице.

В результате отбора проб, с учетом адгезионного взаимодействия наполнителя и матрицы, проведено исследование на износ. Методика проведения испытаний состоит в проведении натурных испытаний. Длительность испытаний составила 90 часов.

Ссылаясь на работы авторов, занимающихся вопросами снижения износа поверхностей металлов, проведен анализ экспериментальных данных, в результате чего выведено корреляционное уравнение, позволяющее теоретически рассчитать конечный результат износа (истираемости) композита.

По результатам исследования даны рекомендации по использованию корреляционной зависимости. Статья обобщает полученный опыт и требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: *эпоксидно-диановая смола, ЭД-22, полиэтиленполиамин, ПЭПА, полимерный материал, твердость, истираемость, износ, адгезия.*

Для цитирования: 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. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.022.

© Хапёрских, С. А., Ананьева, Е. С., 2021

Original article

INFLUENCE OF THE NATURE OF THE FILLER ON THE HARDNESS AND NOSE OF DISPERSE-FILLED COMPOSITE MATERIALS BASED ON EPOXY-DIANO BINDER

Snezhana A. Khaperskikh [1], Elena S. Anan'eva [2]

[1, 2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[1] snezhana_v@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2204-3469
[2] eleana2004@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5768-3912

Abstract. *The protection of the surfaces of metal products from wear is a process of adhesive interaction "metal - coating". The materials used as coatings of metal surfaces are diverse, most of them are materials based on polymer composite materials. The authors analyzed dispersed-filled composite materials based on epoxy-diane resin ED-22 with amine hardener PEP. The following powders were used as fillers: mineral powder, aluminum oxide, quartz sand, graphite, wollastonite, fiberglass and others.*

The use of products and equipment (for example, extruder screws) in the agricultural industry implies the wear of working, rubbing surfaces. In view of the fact that testing for wear of the material requires considerable time, first of all, a study of samples for hardness was carried out (it is known that the higher the hardness, the less abrasion).

Based on the physical and mechanical processes at the interface "matrix - filler", there is evidence of the presence of an interfacial layer, which is a non–deformable body. In this connection, when studying composites for hardness (using the Brinell method), the task was set to analyze not only fillers, but also their volume fraction in the matrix. During the analysis of the obtained dependences of hardness indicators, the dependence of the strength index on the volume fraction of the dispersed filler was established. This is due to the fact that the filler strengthens the matrix, and the degree of hardening depends on the shape of its particles, their quantity and distribution. The exception is some fillers with high hygroscopicity and low adhesion to the matrix.

As a result of sampling, taking into account the adhesive interaction of the filler and the matrix, a study was carried out for wear. The test procedure consists in carrying out full-scale tests. The duration of the tests was 90 hours.

Referring to the works of authors dealing with the issues of reducing the wear of metal surfaces, the authors conducted an analysis of experimental data. As a result, a correlation equation is derived thatallows theoretically calculating the final result of wear (abrasion) of the composite.

Based on the results of the study, recommendations on the use of correlation dependence are given. The article summarizes the experience gained and requires further study.

Keywords: *epoxy-diane resin, ED-22, polyethylene polyamine, PEPA, polymer material, hardness, abrasion, wear, adhesion.*

For citation: Khaperskikh, S. A. & Anan'eva, E. S. (2021). Influence of the nature of the filler on the hardness and nose of disperse-filled composite materials based on epoxy-diano binder. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 163-*172*. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.022.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) определенного типа и состава могут использоваться для защиты поверхностей металлических изделий, используемых в различных отраслях производства. Особое распространение в производстве получили полимерные покрытия на основе термопластов, используемых для защиты внешней или внутренней поверхности изделий из стали (например, трубопроводов, оболочки проводов), работающих в разных климатических условиях.

Использование оборудования в сельскохозяйственной отрасли подразумевает износ деталей, пребывающих в постоянном внешнем трении материала о другие поверхности, которое сопровождается потерей массы. Так как испытания на износ требуют значительного времени для наиболее быстрого контроля качества полученных образцов, возможно

использование показателя твердости. Кроме того, известно, что от твердости материала зависит истираемость: чем выше твердость, тем меньше истираемость [1].

Проблеме износостойкости уделялись исследования группы авторов [2, 3], но направлены они на оценку износостойкости трубных марок полиэтилена. В этой статье будут рассмотрены дисперсно-наполненные полимерные материалы на основе эпоксидной матрицы.

В данной работе исследовались образцы на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 и отвердителя ПЭПА с разной концентрацией. В результате отбора проб выбрана оптимальная концентрация смолы и отвердителя – 100:10. В качестве наполнителей использовались волластонит, минеральный порошок, оксид алюминия, кварцевый песок, графит, стекловолокно и прочие (таблица 1). Наполнители в композите будут являться центрами кристаллизации, что ускорит процесс отверждения композиции. Смешение компонентов производилось до получения состава «густой пасты».

Анализ результатов испытаний подтвердил теоретические данные о взаимосвязи показателей твердости и износа, в результате чего авторами было выведено корреляционное уравнение, позволяющее произвести теоретический расчет износа ПКМ, зная объемную долю дисперсного наполнителя и твердость отвержденной композиции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет твердости дисперсно-наполненных образцов на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 и отвердителя ПЭПА, свойства которых представлены в таблице 1, проведен с посредством вдавливания шарика, используя метод Бринелля. Полированный закаленный шарик диаметром 10 мм вдавливали в поверхность испытуемого образца толщиной не менее 10 мм с усилием 100 кгс (10 Н). Через 30 сек после приложенной нагрузки измеряли глубину отпечатка. Значение твердости по Бринеллю определяли следующим образом [4]:

$$\mathrm{HB} = \frac{2\mathrm{P}}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}, \qquad (1)$$

где P – нагрузка на шарик, кгс;
D – диаметр шарика, мм;
d – диаметр отпечатка, мм.

Таблица 1 – Характеристика компонентов [5, 6, 7]

Table 1 - Characteristics of components [5, 6, 7]

Характеристика	**Значение**	
	ЭД-22	ПЭПА
Внешний вид	Низковязкая, прозрачная	Светло-желтый
Плотность, г/см^3	1,166	0,956
Динамическая вязкость, Па·с	8–12	0,25
Эпоксидный/аминный эквивалент, г/экв	195–183	30
Время желатинизации, ч.	Не менее 18	1,5

Были изготовлены образцы с различным содержанием отвердителя от 8 до 12 массовых частей смолы ЭД-22 в количестве 5 шт. Образцы исследовали на твердость связующего после отверждения (таблица 2).

Таблица 2 – Твердость образцов смолы [8]

Table 2 - Hardness of resin samples[8]

Доля отвердителя ПЭПА, %	**Значение твердости, НВ**
8	12,6
9	13,0
10	16,6
11	20,1
12	24,3

Стоит отметить, что не все образцы были исследованы на твердость. Часть из них разрушилась на предварительной нагрузке (рисунок 1, *б*), а некоторые не до конца отвердились (рисунок 1, *в*). На неотвержденных образцах индентор практически весь погружался в образец, а на протяжении небольшого количества времени (порядка 45–60 минут) образец восстанавливал свою форму. Результаты исследования на определение твердости по методу Бринелля представлены на рисунке 2.

Образцы с массовой долей 11–12 % ПЭПА имеют высокую хрупкость, а с долей 8–9 % – слишком пластичны. Поэтому оптимально соотношение смолы и отвердителя 100 :10.

а) б) в)

Рисунок 1 – Внешний вид образцов для испытаний на твердость:
а) эпоксидно-диановая смола ЭД-22 с отвердителем ПЭПА (100:10);
б) образцы с высокой хрупкостью; в) образцы с высокой пластичностью

Figure 1 - Appearance of samples for hardness tests: a) epoxy-diane resin ED-22 with hardener PEPA (100: 10); b) samples with high fragility; c) samples with high ductility

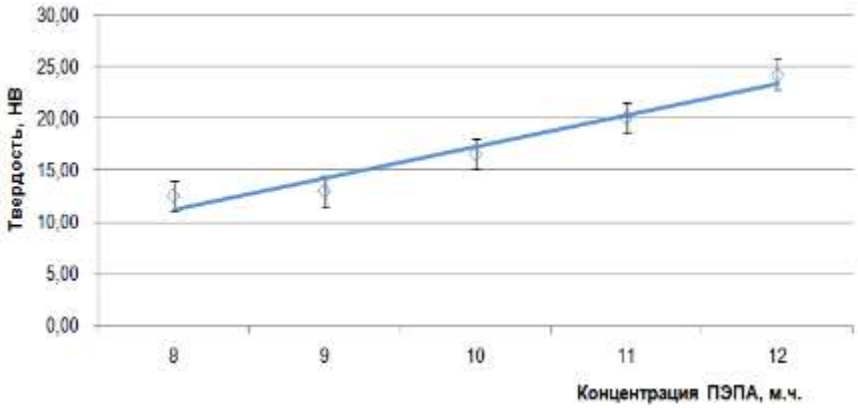


Рисунок 2 – Значение показателей твердости смолы ЭД-22 от концентрации ПЭПА

Figure 2 - The value of the hardness indicators of ED-22 resin from the concentration of PEPA

Используемые в качестве дисперсных наполнителей порошки, а именно: минеральный порошок, оксид алюминия, кварцевый песок, графит, волластонит, стекловолокно и прочие, в композите будут являться центрами кристаллизации, что ускорит процесс отверждения композиции. Использовалась различная объемная доля наполнителей, зависящая от плотности наполнителя, зернистости и его гигроскопичности. Основные характеристики наполнителей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика наполнителей

Table 3 - Characteristics of fillers

Наименование показателя	Значение показателя		Наименование показателя	Значение показателя	
	Истинная плотность, г/см^3	Зернистость/ фракция, мкм		Истинная плотность, г/см^3	Зернистость/ фракция, мкм
Минеральный порошок	2,4	300	Карбид кремния зеленый	3,21	13
Алюминия окись	3,99	50–150	Графит ГЛ-1	2,2	–
Песок кварцевый	1,6	300–600	Волластонит	2,9	8–13
Микросфера керамическая	0,64	40–120	Волокно стеклянное	2,55	–

Смешение компонентов производилось до получения состава «густой пасты», именно поэтому появилась необходимость в снижении вязкости смолы посредством растворителя (в нашем случае – это ацетон с объемной долей не более 2,5 %). Поэтому параллельно проведено исследование идентичных образцов, но с добавлением ацетона. Доля растворителя выбрана благодаря исследованиям, которые показали, что увеличение ацетона в связующем снижает твердость образца, а при концентрации более 2,5 % – определение твердости невозможно из-за повышения его пластичности и увеличения времени на его отверждение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полученные опытным путем образцы были исследованы на твердость. Графическая интерпретация показателей твердости наполненных образцов КМ представлена на рисунке 3.

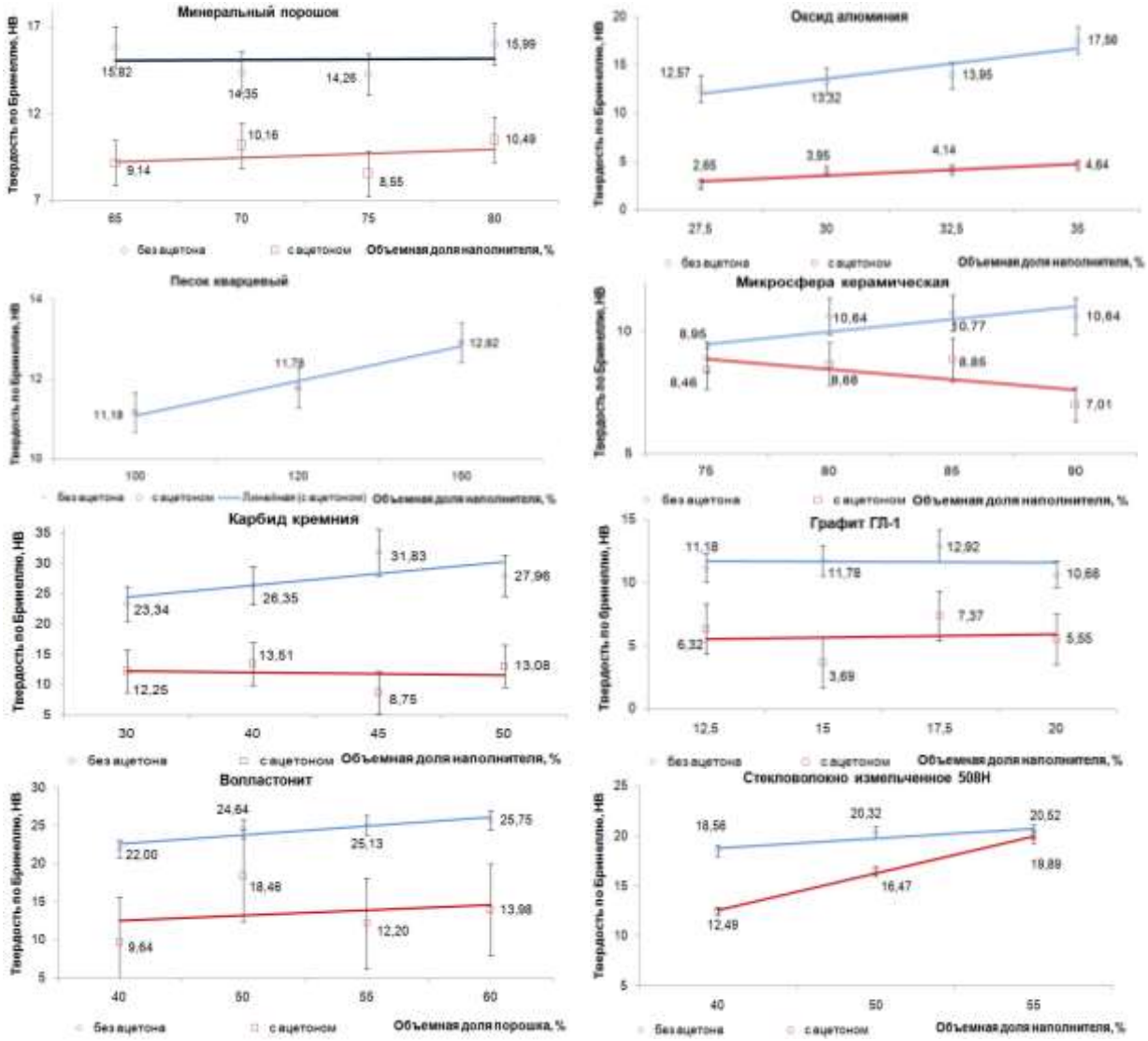


Рисунок 3 – Твердость модифицированных образцов по методу Бринелля

Picture 3 - Hardness of modified samples by the Brinell method

Анализируя рисунок 3, можно отметить, что твердость образца на основе стекловолокна с увеличением объемной доли возрастает. Чем больше доля стекловолокна, тем больше твердость по Бринеллю. Причем объемная доля стекловолокна в размере 55 % характеризуется одинаковыми показателями твердости образцов с ацетоном и без него. То есть, чем больше наполнение образца стекловолокном, тем больше его

твердость и меньше влияния ацетона на структуру связующего.

При изготовлении образцов с кварцевым песком необходимо учесть осаждение песка на дно формы (например, с объемной долей песка, равной 50–80 %) будут соответствовать показателям отвержденной смолы без наполнителя. Исходя из проведенных исследований по отбору проб, были отобраны рецептуры с наилучшими показателями твердости по Бринеллю (таблица 4). В целом эти показатели соответствуют максимальным значениям концентраций порошка в связующем, что, в свою очередь, обеспечит внешний вид раствора в виде пасты и упростит процедуру нанесения ее на пластину.

Таблица 4 – Результаты отбора проб дисперсно-наполненных ПКМ

Table 4 - Results of sampling dispersed-filled PCM

Наполнитель	Объемная доля наполнителя	Твердость композита при отверждении, НВ	
		без ацетона	с ацетоном
Минеральный порошок	0,8	17,0	10,5
Песок кварцевый	1,5	12,9	12,9
Микросфера керамическая	0,9	10,8	8,8
Карбид кремния зеленый	0,5	31,8	13,5
Волластонит	0,6	25,7	18,5
Стекловолокно	0,4	20,5	19,9

Графическая интерпретация основных результатов отбора проб представлена на рисунке 4. Анализируя рисунок 4, наблюдается следующее: полимерная матрица, наполненная кварцевым песком и микросферой керамической в отвержденном состоянии, имеет показатели твердости ниже исходных (без наполнителя – 16,6 НВ, таблица 2); а минеральный порошок, карбид кремния зеленый, волластонит и стекловолокно имеют показатель твердости выше исходной. В связи с чем можно считать, что первая группа наполнителей снижает твердость композита. Частицы наполнителя, выступающие в качестве центров кристаллизации, практически не взаимодействуют с эпоксидной матрицей: отсутствует адгезионное взаимодействие «матрица – наполнитель». Обратная картина наблюдается у второй группы образцов, где адгезионное взаимодействие на порядок выше.

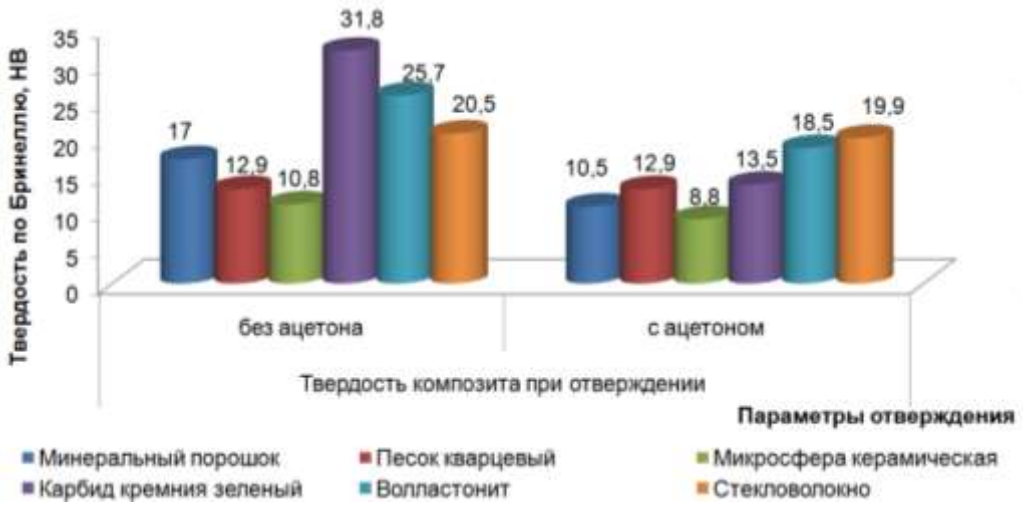


Рисунок 4 – Твердость дисперсно-наполненных КМ в результате отбора проб

Picture 4 - Hardness of dispersed-filled CMs as a result of sampling

Сложные физико-механические процессы на границе раздела «матрица – наполнитель» в композиционных материалах на основе полимеров обусловлено возникновением межфазного слоя, характеристики которого существенно отличаются от характеристик блочного полимера. Как правило, параметры прочности (например, твердость, модуль Юнга) наполнителя во много раз превышают прочностные параметры матрицы [9], именно поэтому принято, что межфазный слой так же, как и армирующие включения, представляет собой недеформируемое тело.

С учетом того, что рабочие органы почвообрабатывающих машин работают в условиях абразивного износа, то их долговечность можно определить такими показателями, как износостойкость или истираемость. Истираемость – это потеря первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания, можно рассчитать посредством формулы (2):

$$И = \frac{(m_1 - m_2)}{F}, \quad (2)$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после истирания, г.; F – площадь поверхности, см^2.

Ниже представлен испытательный стенд для испытаний на истираемость эталонных и модифицированных пластин (рисунок 5, *а*). Внешний вид пластин, закрепленных в установке, представлен на рисунке 5, *б*. Стоит отметить, что расположение пластин равномерно по отношению к их центрам тяжести.

а) б)

Рисунок 5 – Испытательный стенд для проведения натурных испытаний на износ (а) и закрепленные пластины в установке (б)

Figure 5 - Test bench for full-scale tests onwear (a) and fixed plates in the installation (b)

В качестве абразивного материала применяли отсев, щебень и песок в одной смеси. Длительность испытаний составила 90 ч.

Результаты испытаний на износ стандартного (эталонного) образца из стали и образцов с наполненным полимерным покрытием представим в таблице 5 в виде относительной истираемости, где за единицу взят эталонный образец.

Таблица 5 – Зависимость износа образцов от их твердости

Table 5 - Dependence of the wear of samples on their hardness

Матрица	**Наполнитель**	**Объемная доля наполнителя**	**Твердость, НВ**	**Истираемость Икм, г/см^2**	**Икм относительно стандартного образца**
Стандартный образец	–	–	89,9	0,013	1
Эпоксидная смола ЭД-22 + отвердитель ПЭПА (100:10)	минеральный порошок	0,8	17,0	0,096	7,2
	кварцевый песок	1,5	12,9	0,1	7,5
	микросфера керамическая	0,9	10,8	0,058	4,4
	карбид кремния зеленый	0,5	31,8	0,98	7,4
	волосстонит	0,6	25,7	0,111	8,3
	стеклянное волокно	0,4	20,5	0,131	9,9

Анализируя таблицу 5, стоит отметить достаточно высокую истираемость полимерных композитов (рисунок 6) с различными наполнителями, что в принципе не удовлетворяет условию: истираемость поверхности на основе КМ должна быть меньше либо соответствовать той же величине, что и стандартный образец-эталон. В нашем случае, эталон имеет наивысшие показатели твердости и истираемости. Тем не менее, имея данные величины, проведем их анализ.

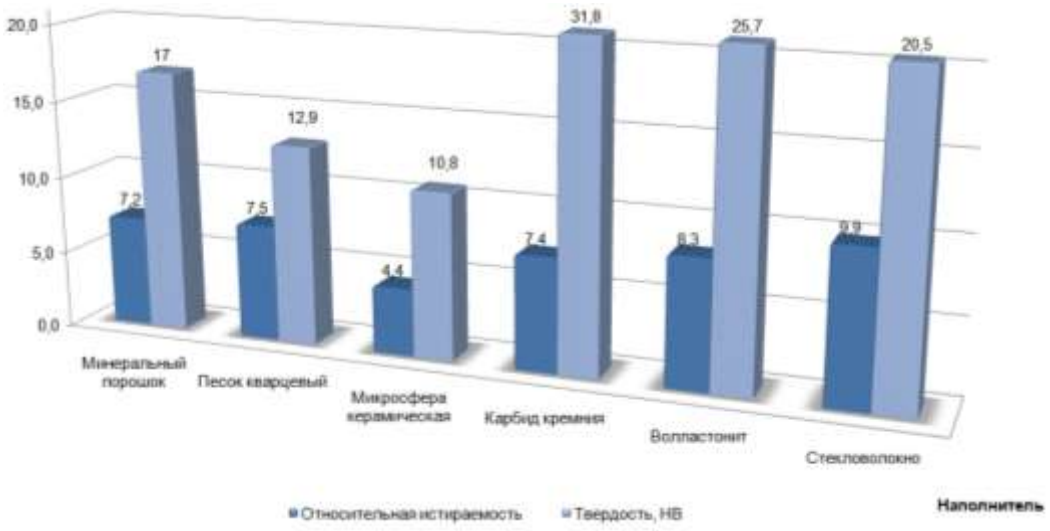


Рисунок 6 – Относительная истираемость и твердость образцов ПКМ (НВ)

Picture 6 - Relative abrasion and hardness of PCM samples (HB)

Основное влияние на износостойкость сталей в условиях абразивного износа оказывает влияние содержание в них углерода, хрома и их твердость. Для их определения группа авторов [10] использовала корреляционное уравнение зависимости относительной износостойкости сталей:

$$\varepsilon = 0{,}24X_1 + 0{,}07X_2 + 0{,}11X_3 - 3{,}54, \quad (3)$$

где X_1 – содержание углерода, %;

X_2 – содержание хрома, %;

X_3 – твердость, HRC.

Используя данную математическую модель, определим зависимость относительной истираемости полимерных композиционных материалов и их твердости, используя прикладной пакет по анализу полученных данных в Excel.

В отличие от металлов, истираемость полимерных композиционных материалов будет зависеть от ряда прочих факторов, а именно: от объемной доли наполнителя, размера фракции, твердости и прочих факторов. При создании КМ на основе ЭД-22 авторами данной статьи оценивались два фактора – объемная доля наполнителя и твердость композита. В результате чего было выведено корреляционное уравнение зависимости значений истираемости ($И_{КМ}$) дисперсно-наполненных композитов (только на основе ЭД-22 и ПЭПА в соотношении 100:10):

$$И_{КМ} = -0{,}6x_1 + 0{,}1x_2 + 6{,}2, \quad (4)$$

где x_1 – объемная доля наполнителя, ед.;

x_2 – твердость отвержденного композита, НВ.

Производя расчеты по формуле (4), стоит отметить, что данная зависимость актуальна в момент проведения данного эксперимента. Кроме того, необходимо адекватно подходить к выбору того или иного дисперсного наполнителя. Например, такой наполнитель, как оксид алюминия, графит и другие наполнители, имеет высокую гигроскопичность и низкую адгезию со связующим, что, в свою очередь, не позволит применять данную зависимость.

В целом, если наполнитель обладает низкой гигроскопичностью и хорошей адгезией, то вполне целесообразно использование формулы (4). Результаты, полученные в ходе проверки, соответствуют полученным опытным путем данным, погрешность измерений составляет не более 5 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что при анализе дисперсно-наполненных ПКМ на основе эпоксидно-дианового связующего важным параметром при изготовлении износоустойчивого композита будет являться природа наполнителя, его доля в композите, а также твердость полученного композиционного материала. Именно поэтому были проанализированы дисперсно-наполненные образцы ПКМ с различной долей наполнителя. Кроме того, изучено влияние доли наполнителя и растворителя на твердость КМ (наличие ацетона в связующем значительно увеличивает время желатинизации и полного отверждения компаунда, а также снижает твердость в несколько раз относительно образца ПКМ без ацетона).

В результате отбора проб дисперсно-наполненных образцов проведен анализ твердости КМ. Образцы, твердость которых соответствовала значениям ниже показателя твердости отвержденной матрицы, были исключены из расчета ввиду низкой адгезии наполнителя и связующего.

Далее, над исследованными на твердость образцами проведено натурное испытание на износ. Полученные результаты твердости, износа и объемной доли наполнителя, учитываемые при проектировании КМ, обработаны с использованием прикладной программы Excel. В результате чего было выведено двухфакторное корреляционное уравнение зависимости истираемости ПКМ.

Таким образом, рост доли дисперсного наполнителя в полимерной матрице может способствовать увеличению твердости композита. Соответственно, рост твердости способствует снижению износа материала. А использование корреляционного соотношения истираемости КМ позволит сократить достаточно протяженный период времени по проведению натурных испытаний на износ ПКМ и теоретически предположить значение показателя истираемости. Используя данные, приведенные в работе, можно сделать вывод, что задача полностью не раскрыта и требует дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомирова Т.С., Рассоха А.Н. Твердость полимерных антикоррозионных покрытий как характеристика их качества // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2008. С. 77–79.

2. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. М. : Химия, 1992. 186 с.

3. Двуглова Л.Я., Лурье Е.Г., Радюкевич О.В., Ратнер С.Б., Фарберова И.И. Износ (истирание) пластмасс и методы его оценки // Пластические массы. 1962. № 1. С. 60–66.

4. Бердыченко А.А. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Материаловедение и технология современных и перспективных материалов» ; АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Барнаул : АлтГТУ, 2015. 76 с.

5. ГОСТ Р 56211-2014. Смолы эпоксиднодиановые неотвержденные. Технические условия : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 ноября 2014 г. № 1500-ст : дата введения 2016-01-01. Москва : Изд-во Стандартинформ, 2015. 14 с.

6. ТУ 2413-066-18777143-2015 Полиэтиленполиамины технические: дата введения 2015-05-18. Москва : Изд-во Стандартинформ, 2015. 9 с.

7. Бобылев В.А. Отвердители для эпоксидных смол // Композитный мир. № 4. 2006 (07). С. 20–24.

8. Особенности структурообразования эпоксидной смолы в процессе отверждения аминным отвердителем / С.А. Хапёрских, Е.С. Ананьева, А.А. Коркина // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 179–186. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.025.

9. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения / Б.А. Люкшин [и др.] ; отв. ред. А.В. Герасимов; Рос.акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т физики прочности и материаловедения; М-во образования и науки РФ, Нац. исслед. Томск. политехн. ун-т, Томск. гос. ун-т сист. упр. и радиоэлектр. [и др.]. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2017. 311 с.

10. Новиков В.С., Самойленко А.Н. Математическая модель зависимости износостойкости материалов от химического состава и твердости // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. № 3. 2008. С. 124–129.

Информация об авторах

С. А. Хапёрских – старший преподаватель, аспирант 2 курса кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Е. С. Ананьева – кандидат технических наук, доцент кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Tikhomirova, T.S. & Rassokha, A.N. (2008) Hardness of polymer anticorrosive coatings as a characteristic of their quality. Tikhomirova. Bulletin of the Kharkov National Automobile and Road University. 77-79.

2. Ratner, S.B. & Yartsev, V.P. (1992). Physical mechanics of plastics. Moscow: Chemistry, P. 186.

3. Dvuglova, L.Y., Lurie, E.G., Radjukevich, O.V., Ratner, S.B. & Farberov, I.I. (1962). Wear (abrasion) plastics and methods of assessment. Plasticheskie MASSY, 1, 60-66.

4. Berdychenko, A.A. (2015). Methodical instructions for practical exercises for the course "materials Science and technology of advanced materials". Barnaul: AltSTU, P. 76.

5. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2014). Uncured epoxy-diane resins. Technical conditions (HOST R 56211-2014). http://docs.cntd.ru/document/1200115430.

6. Technical specifications. (2015). Technical polyethylene polyamines. (TU 2413-066-18777143-2015). Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

7. Bobylev, V.A. (2006). Hardeners for epoxy resins. Composite World. No. 4, 20-24.

8. Khaperskikh, S.A., Anan'eva, E.S. & Korkina, A.A. (2021). Features of structure formation of epoxy resin during curing with amine hardener. *Polzunovskiy vestnik,* 1, 179-186. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.025.

9. Lyukshin, B.A. & Gerasimov, A.V. (2017). Dispersed-filled polymer composites for technical and medical purposes. Novosibirsk : Publishing House of SB RAS. P. 311.

10. Novikov, V.S. & Samoylenko, A.N. (2008). Mathematical model of the dependence of wear resistance of materials on chemical composition and hardness. Bulletin of the FGOU VPO MGAU. No. 3. 124-129.

Information about the authors

S. A. Khaperskikh - Senior Lecturer, 2nd year postgraduate student of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

E. S. Anan'eva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 29.10.2021; одобрена после рецензирования 25.11.2021; принята к публикации 29.11.2021.

The article was received by the editorial board on 29 Oct 21; approved after editing on 25 Nov 21; accepted for publication on 29 Nov 21.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Алексеев Г. В. 115
Ананьева Е. С. 163
Андреев В. Н. 35
Андреев Д. В. 123
Белина С. А. 81
Белякова Д. А. 90
Бердыченко А. А. 146
Березовский Ю. М. 35
Бирченко А. А. 115
Богомолов И. С. 14
Бредихин С. А. 35
Быкова В. А. 27
Бычков А. Л. 90
Бычкова Е. С. 90
Вагнер В. А. 7
Вайтанис М. А. 27
Валова А. К. 7
Виноградов И. С. 129
Вольф А. А. 70
Вольф Е. Ю. 70
Горохова С. В. 110
Губаненко Г. А. 96
Гурьев А. М. 146
Гурьев М. А. 146
Демакова Е. А. 96
Дышлюк Л. С. 60
Дьяченко А. В. 146
Ермош Л. Г. 20
Жуков Д. В. 129
Жуманова Г. Т. 27
Зайцев К. А. 47
Зайченко Е. А. 96
Иванов А. Н. 104
Иванов С. Г. 146
Клейменова Н. Л. 14
Козырева В. М. 70
Комаров Д. В. 129
Коновалов С. В. 129
Копылов М. В. 14
Копырин М. М. 104
Кулжанова Б. О. 41
Леу А. Г. 115
Ломовский И. О. 90
Лосева А. И. 60
Макеева Р. К. 41
Малыгина Н. С. 146
Маркин В. Б. 151
Марков А. Е. 104
Мартеха А. Н. 35
Маюрникова Л. А. 90
Мелёшкина Л. Е. 52
Минина В. И. 60
Морозов С. В. 157
Мягкова Н. А. 151
Негров Д. А. 140
Николенко М. В. 81
Новокшанова А. Л. 47
Оспанов А. Б. 41
Панченко И. А. 129
Петренко Е. В. 96
Попов В. Г. 81
Присухина Н. В. 20
Путинцев В. Ю. 140
Симакова И. В. 70
Слепцова С. А 110
Снегирева А. В. 52
Стрижевская В. И. 70
Тригуб В. В. 81
Ушканов А. А. 110
Фадеев К. А. 20
Федорова А. М. 60
Хапёрских С. А. 163
Ходырева З. Р. 27
Червякова Н. В. 52
Шанин В. А. 115
Шелковская Н. К. 7
Щетинина Е. М. 41

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объёмом 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 [1], Имя Отчество Фамилия [2], Имя Отчество Фамилия [3], Имя Отчество Фамилия [4], Имя Отчество Фамилия [5]

[1, 2, 3] Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия
[1] moskalenko_nu@usue.ru, https://orcid.org/0000-0001-8204-97
[2] tihonov_75@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-4863-98
[3] tihonov_75@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-5841-17
[4] Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности, Сергиев Посад, Россия, ccvictory@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6597-0492
[5] Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия, ccvictory@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5889-91

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 [1], Imya O. Familiya[2], Imya O. Familiya[3], Imya O. Familiya[4], Imya O. Familiya[5]

[1, 2, 3] Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia
[1] moskalenko_nu@usue.ru, https://orcid.org/0000-0001-8204-97
[2] tihonov_75@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-4863-98
[3] tihonov_75@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-5841-17

[4] All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry, Sergiev Posad, Russia, ccvictory@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6597-04
[5] V.M. Gorbatov 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; mnemocode 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 (коли-формы), не допускаются в массе продукта, г	Бактерии рода *Salmonella*, не допускаются в массе продукта, г	*Listeria monocytogenes*, не допускаются в массе продукта, г

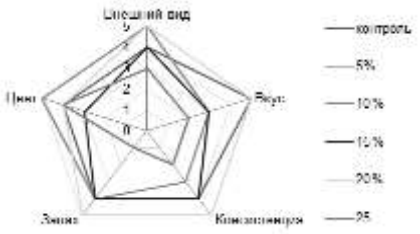


Рисунок 1 – Профиллограмма органолептической оценки

Figure 1-Organoleptic evaluation profile

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скурихин И.М. Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания: Справочник. М.: ДеЛипринт, 2002. 236 с.

2. Лебедева, Н.Г., Борисова А.В. Разработка технологии приготовления супа-пюре с использованием различных способов тепловой обработки // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3. С. 148-153.

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.).

Информация об авторах

С. Л. Тихонов — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии Уральского государственного экономического университета.

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. Название файла формируется из фамилии и инициалов первого автора (к примеру, «ИвановАА.doc). Если статей несколько, то к названию файла через знак подчеркивания добавляется порядковый номер (к примеру, «ИвановАА_1.doc»).

Все статьи будут проверены в системе «Антиплагиат», при оригинальности менее 75 % статьи будут возвращены авторам.

Контактная информация:

г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46, 113 А ГК, почтовый индекс: 656038.
Стопорева Татьяна Александровна – тел.: 8 (3852) 290946, e-mail: polz_journal@mail.ru.

Подписано в печать 27.12.2021. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл. п. л. 20,69. Тираж 200 экз. Заказ 2021 -
Отпечатано в типографии АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

Издательство АлтГТУ им. И.И. Ползунова
656038 г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, каб. 113 главного корпуса
тел. +7 (3852) 29-09-46
сайт: https://polzvestnik.altstu.ru
e-mail: polz_journal@mail.ru
Дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доцент кафедры ТИАрх