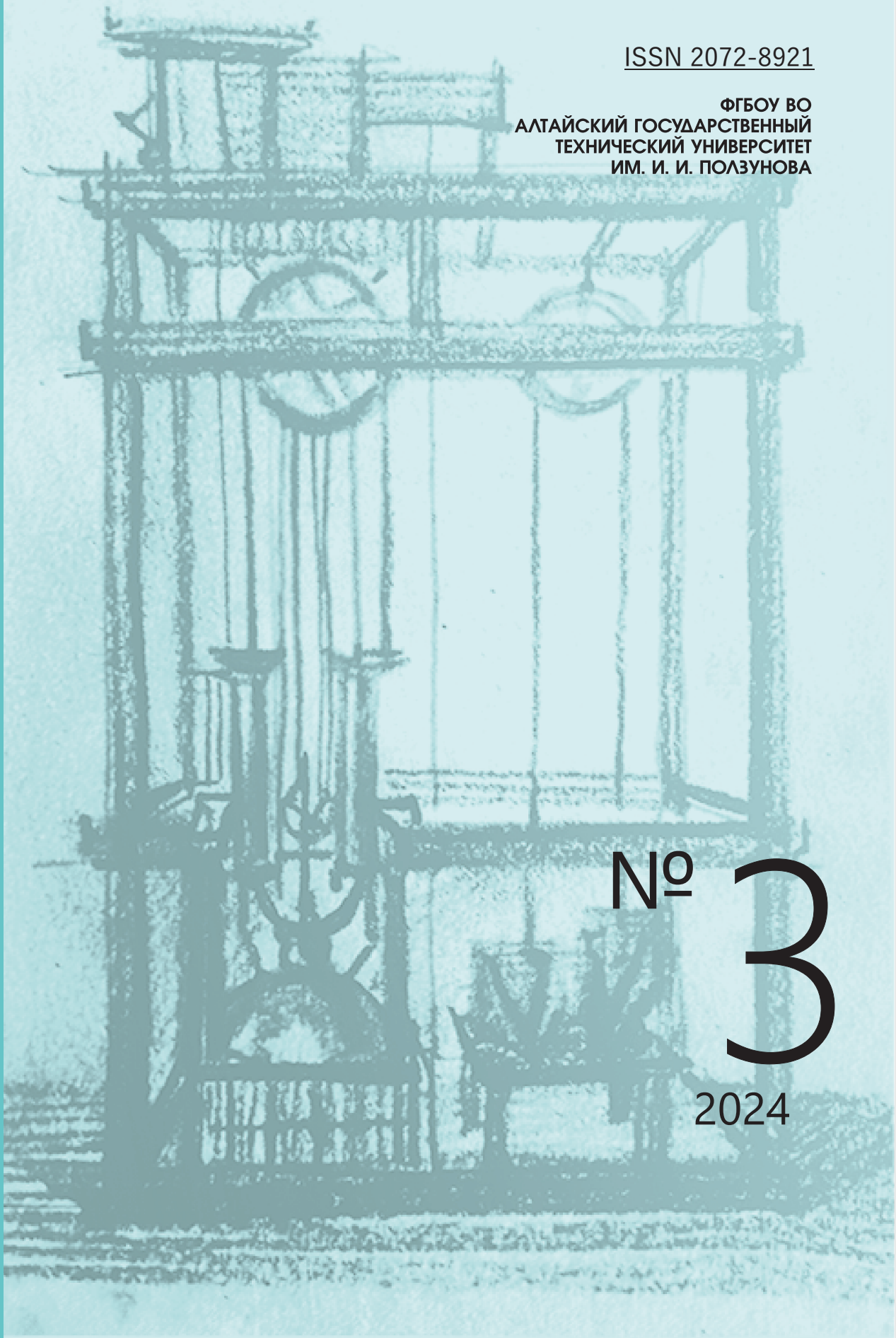


ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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



№ 3
2024

Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

Префикс DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С ОКТЯБРЯ 2002 г.

Периодичность – 4 номера в год

№ 3 2024 г.

Научный журнал

входит в перечень ВАК (К1), RSCI (ядро РИНЦ)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сакович Г. В., академик РАН (г. Бийск)
Мэй Шунчи, проф., декан УТУ (г. Ухань, Китай)
Лыгденов Б. Д., д.т.н., проф. УТУ(г. Ухань, Китай)
Солтан О. И. А., к.т.н., лектор каф. «Наука о продуктах питания» , Сельскохозяйственный факультет, Миния университет (г. Эль-Миния, Египет)
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., гпрофессор кафедры «Обработка металлов давлением» НИТУ МИСиС (г. Москва)
Батаев В. А., д.т.н., проф. НГТУ (г. Новосибирск)
Коновалов С. В., д.т.н., проф., проректор по научной и инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк)
Щетинин М. П., д.т.н., проф., вице-президент НОЧУ ДПО «Международная промышленная академия», (г. Москва)
Тамова М. Ю., д.т.н., проф., зав. каф. «Общественного питания и сервиса» КубГТУ (г. Краснодар)
Попов В. Г., д.т.н., доц., зав. каф. «Товароведение и технологии продуктов питания» ТИУ (г. Тюмень)
Егорова Е. Ю., д.т.н., доц., зав. каф. «Технология хранения и переработки зерна» АлтГТУ (г. Барнаул)
Майоров А. А., д.т.н., проф., главный научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦА (г. Барнаул)
Новоселов С. В., д.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)
Коньшин В. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Химическая технология» АлтГТУ (г. Барнаул)
Романов А. С., д.т.н., проф., зам. директора ООО «Балтийский пекарский дом» (г. Калининград)
Алтухов И. В., д.т.н., доц. ИрГАУ (г. Иркутск)
Мусина О. Н., д.т.н., доц., АлтГТУ (г. Барнаул)
Гуринович Г. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Технология продуктов питания животного происхождения» КемГУ (г. Кемерово)
Ананьева Е. С., к.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК

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

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Проскура Николай Анатольевич,
редактор АлтГТУ (г. Барнаул)

УЧРЕДИТЕЛИ

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

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

ИНДЕКС: 73664 (Урал-Пресс)

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ

656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (АлтГТУ), тел. (3852) 29-09-46, e-mail: polz_journal@mail.ru, Стопорева Т. А.
Сайт журнала: https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest
Дата выхода в свет 10.10.2024 г.
Цена 800 рублей.

CC BY

Polzunovskiy VESTNIK

ISSN 2072-8921

DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921

EST. IN 2002.

Publication frequency: quarterly

№ 3 2024 SCIENTIFIC JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEf

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

EDITORIAL BOARD

Gennady Sakovich, RAS academician, Biysk, Russia
Mei Shunqi, professor, WTU, Wuhan, China
Burial Lygdenov, Doctor of Technical Sciences, WTU, Wuhan, China
Soltan Osama Ismaeil Ahmed, Candidate of Technical Sciences, Lecturer, Minia University, El-Minia, Egyp
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, Siberian state Industrial University, Novokuznetsk, Russia
Mikhail Shchetinin, Doctor of Technical Sciences, Vice-President of the NEI APT “IIA”, Moscow, Russia
Maya Tamova, Doctor of Technical Sciences, KubSTU, Krasnodar, Russia
Vladimir Popov, Doctor of Technical Sciences, TIU, Tyumen, Russia
Elena Egorova, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia
Aleksandr Mayorov, Doctor of Technical Sciences, FASCA, Barnaul, Russia
Sergei Novoselov, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia
Vadim Konshin, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia
Aleksandr Romanov, Doctor of Technical Sciences, professor, LLC “Baltisky Bakery House”, Kaliningrad, Russia
Igor Altukhov, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, IrSAU, Irkutsk, Russia
Olga Musina, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, ASTU, Barnaul, Russia
Galina Gurinovich, Doctor of Technical Sciences, professor, KemSU, Kemerovo, Russia
Elena Ananieva, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, ASTU, Barnaul, Russia

ISSUE MANAGER

Tatiana Stoporeva
Candidate of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia

TECHNICAL EDITOR

Nikolay Proskura
Editor, ASTU, Barnaul, Russia

FOUNDERS

POLZUNOV ALTAI STATE TECHNICAL UNIVERSITY (ASTU)

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

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

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

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

Signed for printing 10.10.2024

CC BY

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Л. Е. Мелёшкина, А. В. Снегирева, О. Н. Мусина, А. С. Стрельцова

Прогнозирование ускоренным методом сроков годности пшена шлифованного 7

А. А. Рядинская, С. А. Чуев, И. А. Кощаев, К. В. Лавриненко

Использование тонкодисперсных овощных порошков в технологии бесклеевой пастилы.....14

С. И. Конева, А. С. Захарова

Проектирование состава многокомпонентных смесей для обогащенных галет.....23

Ю. М. Трубицына, Е. Ф. Отт, Р. В. Дорофеев, К. Е. Шевченко, Т. В. Грянкина

Биотехнологические свойства лактококков, выделенных из природных источников 29

Е. А. Речкина, Ж. А. Кох, В. А. Ханипова, А. В. Воробьёва

Перспективы использования вторичного соевого сырья в пищевом производстве.....36

А. А. Хлопов, С. Г. Ефименко, Е. С. Лыбенко

Изучение влияния способа внесения льняной муки в ржаное тесто на изменение жирнокислотного состава хлеба 41

Д. Р. Червоткина, А. В. Абаева

Пищевая пленка с бактериальной целлюлозой и экстрактом пижмы обыкновенной 47

Г. В. Алексеев, А. П. Савельев, А. А. Бирченко, Е. Н. Ивлева

Возможности повышения качества экструдированных кукурузных крахмалов 55

Я. В. Малолеткова, А. В. Зимичев

Использование тыквы и продуктов ее переработки в пищевой промышленности.....62

О. В. Голуб, А. М. Захаренко, О. К. Мотовилов, Г. П. Чекрыга

Влияние антоцианового красителя на формирование органолептических и физико-химических характеристик льдов сладких пищевых 66

Т. В. Белоусова, Е. Ю. Егорова, Н. А. Дудкина

Влияние параметров обработки ядра семян подсолнечника на качество и пищевую ценность сдобного печенья 75

Л. Н. Буракова, М. В. Николенко, Е. Д. Рожнов, М. Н. Школьникова, Д. А. Плотников

Влияние фактора питания на развитие метаболического синдрома..... 82

Д. Б. Никитюк, Е. М. Щетинина, И. Ю. Тармаева

Обоснование выбора сырья для разработки и производства специализированных продуктов для употребления при метаболическом синдроме..... 90

М. Н. Альшевская, О. В. Анистратова, О. В. Казимирченко, А. А. Кочина

Научное обоснование технологических параметров производства растительных аналогов кисломолочных продуктов..... 95

Н. В. Невзоров, И. В. Мацкевич, Ж. А. Кох

Технология производства пшеничного хлеба с биологически активными добавками из растительного сырья..... 105

С. Д. Божко, Т. А. Ершова, А. Н. Чернышова, И. В. Бояринева, Н. Г. Ли

Способ производства ферментированного продукта на соевой основе..... 111

Е. Н. Дружечкова, Н. А. Величко, В. А. Ханипова, Е. Н. Аёшина

Биохимический состав подсырной облепиховой сыворотки..... 117

С. Н. Кравченко, И. Ю. Резниченко

Управление рисками в производстве витаминизированных завтраков сухих готовых..... 121

И. С. Кольтюгин

Выбор сырья и его технологии для производства овсяного напитка..... 128

Э. Р. Эминова, А. С. Сорокина, Л. А. Забодалова, Н. Тютьков, Пабло Багнон Ричард Анж Аллох, Д. А. Бараненко

Получение микроинкапсулированного экстракта проростков Brassica oleracea var. italica..... 134

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

А. А. Кулемина И. М. Ковенский, Л. З. Чаугарова, В. Е. Овсянников

Перспективы замены хромо-никелевых гальванических покрытий используемых для защиты деталей нефтяного оборудования никель-молибденовыми 141

Нгуен Ши Хай, М. А. Гурьев, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев

Установление причин преждевременного выхода из строя накладки грейдерного ножа из стали 110Г13Х2БРЛ 147

А. Акмырадов, М. А. Ибрагимов, А. П. Рахматуллина

Динамические и физико-механические свойства вулканизатов на основе смесей бутадиен-стирольного каучука и функционализированного полимера, полученных жидкофазным совмещением их латексов 153

Е. А. Бобина, М. П. Данилаев, В. А. Куклин, С. А. Карандашов, К. В. Файзуллин

Агломерация дисперсных частиц при формировании наполненного полимерного материала 160

А. А. Иванова, К. Н. Мусатова, С. В. Темерев, И. В. Индюшкин

Определение содержания селена в природных объектах инструментальными методами.....169

Н. В. Алексеева, Е. Д. Романов, А. В. Рухов, К. И. Мартьянов

Разделение водных растворов, содержащих бета-нафтол.....176

Е. А. Носова, В. А. Разживин, А. А. Кузина, А. В. Трибунский

Исследование кристаллографической текстуры тонких лент из алюминиевых сплавов АД0, АМЦ и Д16 181

Е. Н. Неверов, Е. С. Михайлова, И. В. Тимощук, Р. Ю. Схаплок

Анализ проекта мобильной установки физико-химической очистки сточных вод угольных предприятий..... 191

Г. И. Амерханова, Е. А. Кияненко, Л. А.Зенитова

Композит на основе пенополиуретана и базальтового волокна для изготовления съемных чехлов с целью теплоизоляции оборудования..... 200

К. К. Бахрунов, А. Н. Павлов, Т. И. Некипелова

Моделирование процессов теплового напряженно-деформированного состояния нагревательного устройства..... 206

А. Б. Рошколаева, В. А. Новоженов, В. П. Смагин, И. А. Шмаков, Л. В. Затонская, Н. Е. Стручева, О. В. Белова

Спектральные и электрические свойства европий-галлиевого граната 213

М. В. Пашков, Р. М. Хисамутдинов

Технологические решения по нанесению специальных покрытий для повышения износостойкости деталей и узлов машин..... 223

О. В. Кропотин, Е. А. Рогачев, Е. А. Дроздова, А. А. Каленчук, Е. Г. Глуховеря

Зависимость электрического сопротивления от параметров кристаллической структуры и физико-химических характеристик технического углерода 228

И. М. Угарова, А. К. Горелкина, Т. А. Утробина

Загрязнение водных объектов и способы снижения антропогенного вклада ... 234

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ..... 242

SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

L. E. Meleshkina, A.V. Snegireva, O.N. Musina, A. S. Streltsova

Forecasting the shelf life of millet ground by the accelerated method 7

A. A. Ryadinskaya, S. A. Chuev, I. A. Koshchaev, K. V. Lavrinenko

Use of fine vegetable powders in glue-free pastille technology 14

S. I. Koneva, A. S. Zakharova

Designing the composition of multicomponent mixtures for enriched biscuits 23

J. M. Trubitsyna, E. F. Ott, R. V. Dorofeev, K. E Shevchenko, T. V. Gryankina

Biotechnological properties of lactococci isolated from natural sources 29

E. A. Rechkina, Zh. A. Koch, V. A. Khanipova, A. V. Vorobyeva

Prospects for use of secondary soy raw materials in food production.....36

A. A. Khlopov, S. G. Efimenko, E. S. Lybenko

To investigate the effect of adding flaxseed flour to rye dough on change in fatty acid compo-sition of bread.....41

D. R. Chervotkina, A. V. Abaeva

Food film with bacterial cellulose and tansy extract 47

G. V. Alekseev, A. P. Saveliev, A. A. Birchenko, E. N. Ivleva

Possibilities of improving quality of extruded corn starches.....55

Ya. V. Maloletkova, A. V. Zimichev

Studying possibility of using pumpkin and its processing products in food industry 62

O. V., Golub, A. M., Zakharenko, O. K., Motovilov, G. P., Chekryga

Influence of anthocyanine dye on formation of organoleptic and physical-chemical characteristics of sweet food ices.....66

T. V. Belousova, E. Yu. Egorova, N. A. Dudkina

Influence of processing parameters sunflower seed kernels on the quality and nutritional value of butter cookies..... 75

L. N. Burakova, M. V. Nikolenko, M. N. Shkolnikova, E. D. Rozhnov, D. A. Plotnikov

Influence of nutrition factor on development of metabolic syndrome..... 82

D. B. Nikityuk, E. M. Shchetinina, I. Yu. Tarmaeva

Rationale for choice of raw materials for development and production of specialized products for consumption in metabolic syndrome 90

M. N. Al'shevskaya, O. V. Anistratova, O. V. Kazimirchenko, A. A. Kochina

Scientific substantiation of technological parameters of the production of plant-based analogues of fermented milk products 95

V. N. Nevzorov, I. V. Matskevich, Zh. A. Kokh

Production technology of wheat bread with biologically active additives from vegetable raw material..... 105

S. D. Bozhko, T. A. Ershova, A. N. Chernyshova, I. V. Boyarineva, N. G. Li,

Method of production of fermented soy-based product 111

E. N. Druzhechkova, N. A. Velichko, V. A. Khanipova, E. N. Ayoshina

Biochemical composition of whey sea buckthorn whey 117

S. N. Kravchenko, I. Yu. Reznichenko

Risk management in the production of vitaminized breakfast powders. 121

I. S.Koltyugin

Selection of raw materials and its technology for the production of oat drink 128

E. R. Eminova, A. S. Sorokina, L. A. Zabodalova, N. Tyutkov, P. Alloh, D. A. Baranenko

Microencapsulation of extracts obtained from Brassica Oleracea var. Italica Sprouts 134

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

A. A. Kulemina, I. M. Kovenskiy, L. Z. Chaugarova, V. E. Ovsyannikov

Prospects for replacing chromium-nickel electroplating coatings used to protect parts nickel-molybdenum oil equipment 141

Shi Hai Nguyen, M. A., Guryev, S. G. Ivanov, A. M. Guryev

Establishing reasons for premature withdrawal of the grader knife made of 110G13X2BRL steel is out of order 147

A. Akmyradov, M. A. Ibragimov, A. P. Rakhmatullina

Dynamic and physico-mechanical properties of vulcanizates based on blends of butadiene-styrene rubber and functionalized polymer obtained by liquid-phase combination of their latexes.....153

E. A. Bobina, M. P. Danilaev, V. A. Kuklin, S. A. Karandashov, K. V. Fayzullin

Dispersed particles agglomeration during formation of filled polymer material.....160

A. A. Ivanova, K. N. Musatova, S. V. Temerev, I. V. Indjushkin

Determination of selenium in natural objects by instrumental methods 169

N. V. Alekseeva, E. D. Romanov, A. V Rukhov, K. I. Martyanov

Separation of aqueous solutions containing beta-naphthol 176

E. A. Nosova, V. A. Razzhivin, A. A. Kuzina, A. V. Tribunskiy

Investigation of the crystallographic texture of thin tapes made of aluminum alloys AD0, AMC AND D16.....181

E. N. Neverov, E. S. Mikhaylova, I. V. Timoshchuk, R. Yu. Skhaplok

Analysis of the project of a mobile installation of physico-chemical wastewater treatment of coal enterprises 191

G. I. Amerkhanova, E. A. Kiyanenko, L. A. Zenitova

Composite based on polyurethane foam and basalt fiber for the manufacture of removable covers for the purpose of thermal insulation of equipment..... 200

K. K. Bakhrunov, A. N. Pavlov, T. I. Nekipelova

Modeling of the processes of thermal stress-strain state of a heating device 206

A. B. Roshkolaeva, V. A. Novozhenov, V. P. Smagin, I. A. Shmakov, L. V. Zatonskaya, N. E. Strucheva, O. V. Belova

Spectral and electrical properties of europium-gallium garnet..... 213

M. V. Pashkov R. M. Khisamutdinov

Technological solutions for applying special coatings to increase wear resistance of machine parts and components 223

O. V. Kropotin, E. A. Rogachev, E. A. Drozdova, A. A. Kalenchuk, E. G. Glukhoverya

Dependence of electrical resistance on the parameters of the crystal structure and physico-chemical characteristics of carbon black..... 228

I. M. Ugarova, A. K. Gorelkina, T. A. Utrobina

Pollution of water bodies and ways to reduce anthropogenic contribution 234

AUTHOR'S INDEX..... 242

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 7–13.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 7–13.

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.762
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.001 EDN: WXKWBW

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСКОРЕННЫМ МЕТОДОМ СРОКОВ ГОДНОСТИ ПШЕНА ШЛИФОВАННОГО

Лариса Егоровна Мелёшкина [1], Анна Владимировна Снегирева [2], Ольга Николаевна Мусина [3], Анастасия Сергеевна Стрельцова [4]

[1,2,3,4] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. 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] musinaolga@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4938-8136
[4] nekrasik-93@mail.ru

Аннотация. *В статье рассматривается важная проблема ускорения установления сроков годности пшена, что особенно актуально с учетом потребности в пролонгации сроков годности круп и обеспечении качества такой продукции. Описан метод определения сроков годности пшена с помощью ускоренного старения при повышенных температурах. Основной задачей исследования был анализ изменений в органолептических, физико-химических и микробиологических показателях пшена шлифованного в процессе хранения при различных температурах. Установлено, что оптимальные условия для реализации ускоренного метода оценки сроков годности пшена обеспечиваются при хранении при температуре 40 ºС. Такой режим позволяет значительно сократить длительность установления сроков годности пшена – с 9 месяцев до 78 дней, при этом крупа сохраняет все необходимые показатели качества в соответствии с требованиями стандарта. При данной температуре можно проводить и более длительное хранение, рассчитав контрольные точки согласно модели Аррениуса и критерия Q10. При этом контролировать достаточно показатели, заложенные в ГОСТ 572-2016 и кислотное число жира. Таким образом, исследование позволяет оптимизировать процесс установления сроков годности круп на примере пшена.*

Ключевые слова*: пшено, ускоренное хранение, температура хранения, кислотность, кислотное число жира, влажность, микробиологические показатели крупы, органолептические показатели крупы.*

Благодарности*: Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ № 075-03-2024-105, номер темы FZMM-2024-0003, рег. № НИОКТР 124013000666-5).*

Для цитирования: Мелёшкина Л.Е., Снегирева А.В., Мусина О.Н., Стрельцова А.С. Прогнозирование ускоренным методом сроков годности пшена шлифованного // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 7 – 13. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.001, EDN: https://elibrary.ru/wxkwbw.

FORECASTING EXPIRATION DATES MILLET GROUND BY THE ACCELERATED METHOD

Larisa E. Meleshkina [1], Anna V. Snegireva [2], Olga N. Musina[3], Anastasia S. Streltsova [4]

[1,2,3,4,5] 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] musinaolga@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4938-8136
[4] nekrasik-93@mail.ru

Abstract. *The article deals with the important problem of speeding up the establishment of the shelf life of millet, which is especially important given the need to prolong the shelf life of cereals and ensure the quality of such products. A method for determining the shelf life of millet using accelerated aging at elevated temperatures is described. The main objective of the study was to analyze changes in the organoleptic, physicochemical and microbiological parameters of millet ground during storage at various temperatures. It has been established that optimal conditions for the implementation of an accelerated method for estimating the shelf life of millet are provided when stored at a temperature*

© Мелёшкина Л. Е., Снегирева А. В., Мусина О. Н., Стрельцова А. С., 2024

of 40 ° C. This mode allows you to significantly reduce the duration of setting the shelf life of millet – from 9 months to 78 days, while the cereal retains all the necessary quality indicators in accordance with the requirements of the standard. At this temperature, longer storage can also be carried out by calculating control points according to the Arrhenius model and the Q10 criterion. At the same time, it is enough to control the indicators laid down in GOST 572-2016 and the acid number of fats. Thus, the study makes it possible to optimize the process of setting the shelf life of cereals using the example of millet.

***Keywords**: millet, accelerated storage, storage temperature, acidity, acid number of fats, humidity, microbiological parameters of cereals, organoleptic parameters of cereals.*

***Acknowledgments:** This work was supported by the project № 075-03-2024-105, FZMM-2024-0003, 124013000666-5 from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.*

For citation: Meleshkina L. E., Snegireva A.V., Musina O.N., Streltsova A.S. (2024). Forecasting the shelf life of millet ground by the accelerated method. Polzunovskiy vestnik. (3), 7-13. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.001. EDN: https://elibrary.ru/WXKWBW.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях высокой конкуренции актуальным является пролонгации сроков годности пищевых продуктов, что дает возможность транспортировки продуктов питания на большие расстояния без потери качества и безопасности [1].

На сегодняшний день государственными стандартами на большую часть пищевых продуктов предусмотрено установление срока годности изготовителями. Таким образом, в зависимости от технологических режимов производства сроки годности продуктов могут меняться. Стандартные методы подтверждения сроков годности предполагают длительные испытания, которые для нескоропортящихся продуктов ресурсозатратны.

Множество исследований посвящено поиску возможности сократить длительность таких испытаний. Так, известен метод быстрого, точного и бюджетного установления ресурса срока годности продукта с жировым компонентом и оставшегося срока хранения на основе изменений физико-химических свойств образца, которые зависят от длительности хранения. Патентованный подход включает извлечение жира из продукта, измерение времени индукции, определение истекшего срока годности путем интерполяции на эталонной кривой значения времени индукции и расчет ресурса срока годности как разницу между установленным сроком годности и прошедшим сроком хранения [2].

Широко распространение получили методы ускоренного старения в условиях повышенных температур [3-11]. Вместе с тем такой подход не является универсальным для всех продуктов, поэтому исследованиям должен подвергаться каждый анализируемый объект.

Цель исследований – поиск возможности ускорения оценки сроков годности пшена шлифованного и разработка метода реализации предлагаемого способа.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих задач:

- обоснование сроков и температур хранения пшена шлифованного;
- определение контрольных точек для оценки показателей качества;
- исследование органолептических, физико-химических и микробиологических показателей пшена шлифованного в процессе хранения и анализ полученных результатов.

МЕТОДЫ

Работа проводилась на лабораторной базе ЦКИ «АлтайБиоЛакт» АлтГТУ.

Объектом исследований являлось пшено шлифованное высшего сорта, соответствующее требованиям ГОСТ 572-2016.

Органолептический анализ пшена шлифованного осуществлялся по ГОСТ 26312.2. Кислотность пшена определяли по методу, описанному в ГОСТ 26971, массовую долю влаги – в соответствии с по ГОСТ 26312.7-88, а кислотное число жира – по методике, изложенной в ГОСТ 31700-.

Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в исследуемых образцах определяли на плотной питательной среде КМАФАнМ в соответствии с ГОСТ 10444.15-94. Количество дрожжей и плесневых грибов в исследуемых образцах определяли на плотной питательной среде Сабуро в соответствии с ГОСТ 10444.12-2013.

Относительную влажность воздуха при хранении пшена и температуру контролировали с помощью логгера Librotech SX100 (ООО "Либротех", Россия).

Определение вкуса, запаха и цвета крупы проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 26312.2. Критерии оценки представлены в таблице 1, итоговую сумму баллов рассчитывают с учетом коэффициентов весомости (таблица 2).

Комплексная бальная оценка не менее 86 баллов свидетельствует о том, что пшено по органолептическим характеристикам близко к свежевыработанному (норма свежести), пригодно к употреблению в пищу, имеют запас хранения.

Комплексная бальная оценка от 60 до 85 баллов (норма годности) – пшено пригодно к употреблению, но процессы окислительной порчи активизированы, необходимо внести изменения в программу испытаний в части контрольных точек, увеличив их количество в оставшийся период хранения не менее чем в два раза.

Комплексная бальная оценка ниже 60 баллов (норма или порог непригодности) – пшено непригодно в пищу.

Таблица 1 – Характеристики признаков качества пшена шлифованного и их оценки по 100-балльной шкале
Table 1 – Characteristics of the quality characteristics of millet millet and their evaluation on a 100-point scale

Признак качества	Характеристика признака	Бальная оценка с учетом коэффициента весомости, балл
Вкус	Свойственный, ярко выраженный, насыщенный	43-50 (отлично)
	Свойственный, достаточно выраженный	38-42 (хорошо)
	Свойственный, слабовыраженный	31-37 (удовлетворительно)
	Не свойственный, имеет посторонний привкус	Менее 30 (неудовлетворительно)
Запах	Свойственный, ярко выраженный, насыщенный	35-40 (отлично)
	Свойственный, достаточно выраженный	30-33 (хорошо)
	Свойственный, слабовыраженный	24-29 (удовлетворительно)
	Не свойственный, имеет посторонний привкус	Менее 24 (неудовлетворительно)
Цвет	Свойственный, яркий	10 (отлично)
	Свойственный	8-9 (хорошо)
	Легкое обесцвечивание	6-7 (удовлетворительно)
	Не свойственный, потемневший или обесцвеченный	Менее 6 (неудовлетворительно)

Таблица 2 – Распределение коэффициентов весомости при оценке пшена
Table 2 – Distribution of the coefficients of reliability in the evaluation of millet

Показатель	Максимальный балл	Коэффициент весомости	Балл с учетом коэффициента весомости
Вкус	5	10	50
Запах	5	8	40
Цвет	5	2	10
Сумма	-	20	100

Все исследования проводились в условиях повторяемости и обрабатывались статистически. В разделе «Результаты и их обсуждение» приведены средние значения показателей.

С помощью модели Аррениуса и критерия Q10 проводился расчет сроков хранения пшена шлифованного.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая схема проведения исследований приведена на рисунке 1. Поскольку ближе к концу гарантированного производителем срока годности пшена возможно ускорение процесса порчи хранящейся крупы, интервал контрольных точек в этот период уменьшен. Программа испытаний приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Программа испытаний (контрольные точки)
Table 3 – Test program (control points)

Процент от срока годности	25	50	65	80	90	100	115
Нормальные испытания, сутки	68	135	176	216	243	270	311
Ускоренные испытания при 30°С, сутки	34	68	88	108	122	135	155
Ускоренные испытания при 40°С, сутки	17	34	44	54	61	68	78
Ускоренные испытания при 50°С, сутки	8	17	22	27	30	34	39
Ускоренные испытания при 60°С, сутки	4	8	11	14	15	17	19

Кислотность крупяных продуктов является важным показателям, позволяющим контролировать процесс распада основных пищевых веществ с образованием кислых продуктов в процессе хранения. Поскольку пшено шлифованное относится к крупам с повышенным содержанием жира, кислотность так же может косвенно отражать накопление свободных жирных кислот в результате гидролиза липидов под действием температуры. На рисунке 2 показано, как меняется кислотность пшена при хранении в режиме нормальных испытаний и ускоренным методом (при повышенной температуре).

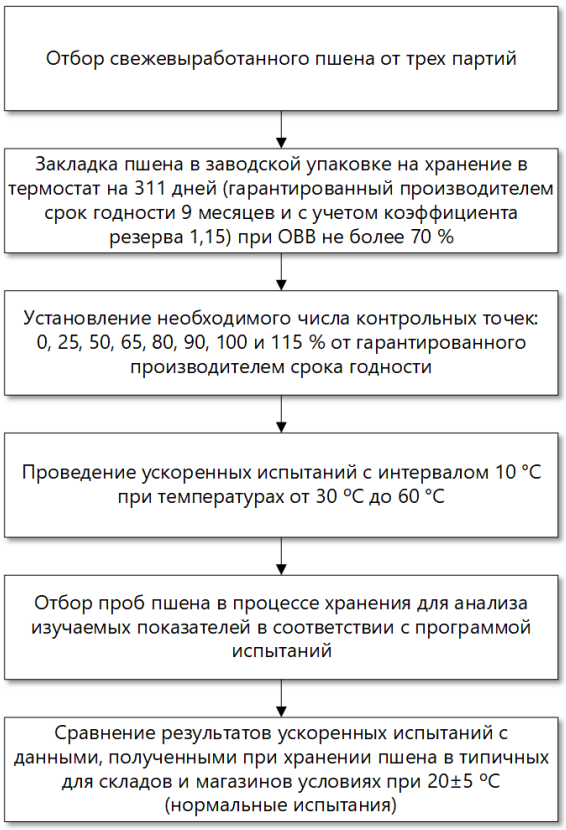


Рисунок 1 – Общая схема проведения исследования

Figure 1 – The general scheme of the study

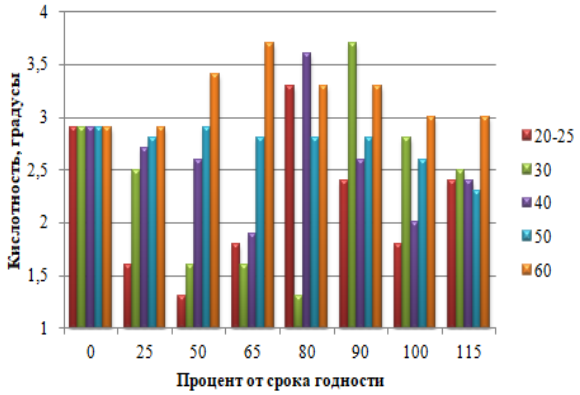


Рисунок 2 – Изменение кислотности пшена в процессе хранения при различных температурах

Figure 2 – Change in the acidity of millet in the storage process at different temperatures

Как показано на рисунке 2, повышение температуры хранения (60 °С) стимулирует протекание химических реакций, что приводит к образованию кислых продуктов и, соответственно, активному росту кислотности. Пшено шлифованное, хранящееся при более низкой температуре (50 °С), демонстрирует относительную стабильность качества, поскольку его кислотность практически не меняется и лишь незначительно снижается в конечном этапе хранения. При хранении пшена при температурах 30 °С и 40 °С на начальном периоде происходит снижение кислотности в результате образования щелочных продуктов.

При реализации нормальных испытаний пшена (хранение при 20±5 ºС в течении 311 дней) кислотность снижается на 0,5 градусов по сравнению с исходным значением и составляет 2,4 градуса. Максимально близкое значение кислотности со стандартными образцами в последней контрольной точке имеют образцы, хранившиеся при 40 ºС и 50 ºС. При этом динамика схожая с нормальными испытаниями по кислотности наблюдается и у образцов, хранившихся при 40 ºС.

Относительно небольшой срок годности пшена шлифованного по сравнению с другими видами круп связан с наличием в пшене большего количества жира, подверженного прогорканию. Отследить этот процесс позволяет исследование динамики кислотного числа жира (КЧЖ) при хранении. Величина КЧЖ характеризует наличие свободных жирных кислот в испытуемом образце. Результат этой серии экспериментов визуально представлен на рисунке 3.

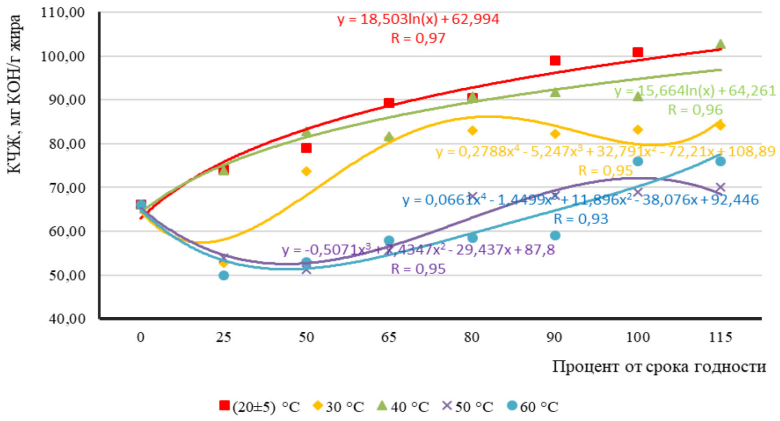


Рисунок 3 – Изменение КЧЖ пшена в процессе хранения при различных температурах

Figure 3 – Change of millet's KCF during storage at different temperatures

Установлено (рис. 3), что с увеличением продолжительности хранения КЧЖ растет, причем, как ни парадоксально, при низких температурах гидролиз происходит более интенсивно – образец пшена, хранившийся в режиме нормальных испытаний, продемонстрировал наибольшую величину КЧЖ.

По-видимому, при относительно низких температурах хранения (20-40 ºС) преобладает действие липолитических ферментов, при этом в ходе гидролиза жиров образовываются свободные жирные кислоты и КЧЖ растет. В то время как в пшене, хранящемся при относительно высоких температурах жир гидролизуется до альдегидов и кетонов, не дающих реакции со щелочью, что сказывается на снижении КЧЖ. В пользу этой гипотезы говорит то, что максимально близкое к контрольному образцу значение кислотного числа жира отмечено в пшене, хранившемся при 40 ºС.

Известно, что биохимические процессы происходят в водной среде, и скорость реакций снижается зависит от массовой доли влаги в исследуемом образце. Оценка динамики массовой доли влаги в пшене (рисунок 4) помогает понять, как изученные режимы влияют на процесс хранения, что позволит повысить качество хранящейся крупы и предложить упреждающие меры для минимизации потерь пищевой продукции.

Изученные нами образцы пшена шлифованного соответствовали требованиям ГОСТ, в том числе и по показателю массовой доли влаги – 10,9 % (при максимально возможной нормируемой стандартом величине в 14 %). При этом в процессе хранения пшена в заводской упаковке при нормальных условиях привело к дополнительной потере влаги (значение уменьшилось на 1,5 %). При хранении образцов в условиях повышенных температур потеря влаги ускорилась.

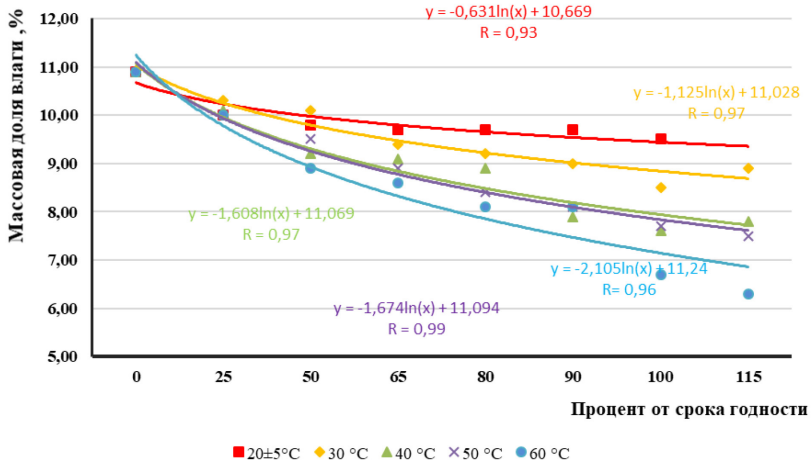


Рисунок 4 – Изменение массовой доли влаги в пшене в процессе хранения при различных температурах

Figure 4 – Change in the mass fraction of moisture in millet during storage at different temperatures

Для крупы, в том числе и пшена шлифованного, нет нормативов по показателям микробиологической безопасности. Тем не менее, известно, что деятельность микрофлоры может приводить к различным негативным последствиям при хранении растительного сырья, например, в качестве такого явления можно упомянуть самосогревание зерна, приводящее к полной потере качества зерновой массы при непринятии мер к остановке процесса. Относительно крупы – деятельность микроорганизмов может спровоцировать различные ферментативные реакции, что скажется и на качестве пшена, изменении его физико-химических и органолептических характеристик. Поэтому в хранящихся образцах пшена шлифованного в соответствии с программой испытаний дополнительно изучены следующие показатели: количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов КМАФАнМ, а также дрожжей и плесеней (рисунок 5, 6). Дрожжи не обнаружены ни в одном образце при любом режиме и сроке хранения.

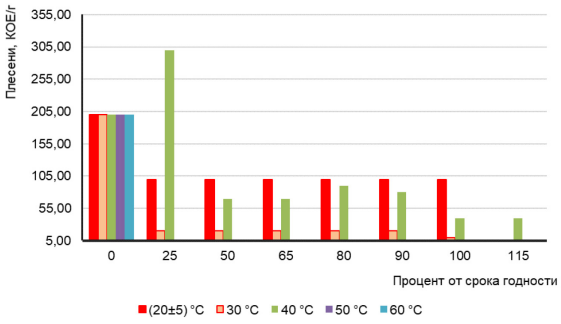


Рисунок 5 – Количество плесеней в пшене в процессе хранения при различных температурах

Figure 5 – The number of molds in millet during storage at various temperatures

Стартовое количество плесеней в пшене – $2x10^2$ КОЕ/г. В процессе нормальных испытаний отмечено небольшое снижение этой величины в первой контрольной точке и дальнейшая стабилизация на этом уровне. Повышение температуры сказывается на снижении количества плесеней, однако, при 40 ºС наблюдается отличная от других температур динамика. Так, на первой контрольной точке происходит скачок в развитии, затем некоторая стабилизация при дальнейшем хранении и плавное снижение к концу срока хранения. Небольшое увеличение количества плесеней при 40 ºС по истечении 80 % от срока хранения коррелирует со скачком кислотности и КЧЖ (рисунок 2, 3), что косвенно подтверждает нашу гипотезу о ключевом влиянии на этот процесс липолитических ферментов как результата жизнедеятельности плесеней. Дополнительно в пользу этой гипотезы говорит идентичный ход процессов в режиме нормальных испытаний и подавление плесеней при высоких температурах (50, 60 ºС) уже в начальном периоде хранения.

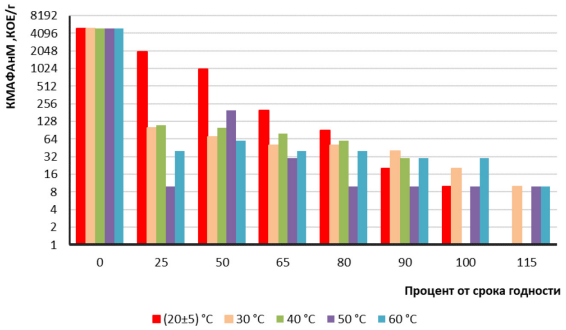


Рисунок 6 - КМАФАнМ в пшене в процессе хранения при различных температурах

Figure 6 - KMAFAnM in millet during storage at various temperatures

Общая микробная обсемененность при закладке пшена на хранение – $5x10^3$ КОЕ/г. В процессе хранения КМАФАнМ снижается с ростом как температуры, так и срока хранения. Через 311 дней хранения в режиме нормальных испытаний большая часть мезофильно-аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов инактивирована. Изучено влияние режима хранения пшена на его органолептические показатели (рисунок 7).

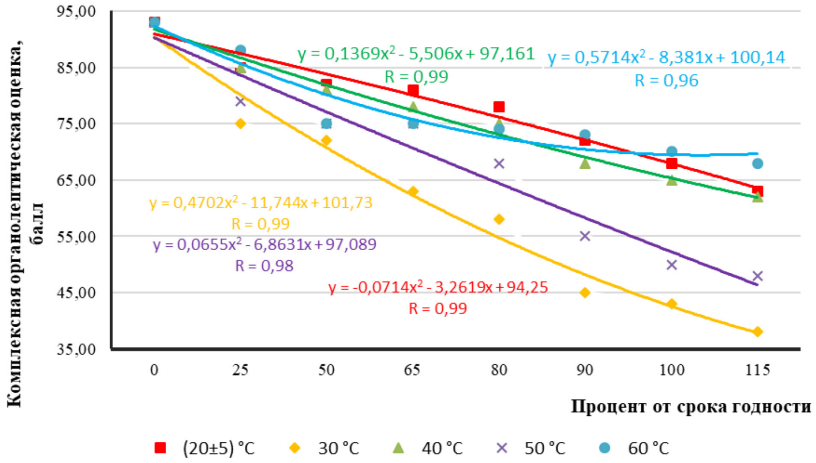


Рисунок 7 – Изменение органолептических показателей пшена в процессе хранения при различных температурах

Figure 7 – Changes in organoleptic parameters of millet during storage at different temperatures

Выявлено, что в пшене происходит снижение органолептических показателей в процессе хранения при любых изученных температурах. При этом хранение при температуре 60 ºС оказывает стабилизирующее действие на вкус и запах пшена, ухудшается лишь его цвет, что возможно, связано с подавлением деятельности микрофлоры и инактивацией ферментов, а также снижением влажности и замедлением биохимических реакций. Активнее всего снижаются органолептические показатели пшена, хранившегося при 30 ºС. Наиболее близкие значения со стандартными условиями хранения наблюдаются у образцов пшена, хранившихся при 40 ºС. При этой же температура наблюдаются схожие с нормальными условиями хранения микробиологические и биохимические процессы.

ВЫВОДЫ

Хранение при 30 ºС не может быть рекомендовано для установления сроков годности пшена шлифованного высшего сорта в связи с активно протекающими биохимическими реакциями, приводящими к резкому ухудшению органолептических показателей, несопоставимых с нормальными условиями хранения.

Высокая температура хранения, наоборот, ведет к замедлению всех процессов и способствует сохранению органолептических показателей, чего не происходит в стандартных образцах.

Наиболее близкие к нормальным условиям испытаний физико-химические, органолептические и микробиологические показатели отмечены в образцах пшена, хранившихся при 40 ºС. На конец срока хранения с учетом коэффициента резерва эти образцы имеют показатели качества, соответствующие требованиям ГОСТ 572-2016, что позволяет сократить длительность установления годности пшена шлифованного с 9 месяцев до 78 дней.

При данной температуре можно проводить и более длительное хранение, рассчитав контрольные точки согласно модели Аррениуса и критерия Q10. При этом контролировать достаточно показатели, заложенные в ГОСТ 572-2016 и кислотное число жира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев, А. И. Способы увеличения сроков годности пищевых продуктов (обзор) / А. И. Терентьев, С. Л. Тихонов // Тенденции развития мировой торговли в XXI веке: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию учебного заведения, Пермь, 22–31 октября 2019 года. Пермь: Пермский институт (филиал) РЭУ им. Г.В.Плеханова, 2019. С. 241-248. EDN GQBPND.

2. Патент № 2732595 C1 Российская Федерация, МПК G01N 33/02. Способ определения ресурса срока годности пищевых продуктов : № 2019117523 : заявл. 05.06.2019 : опубл. 21.09.2020 / Е. А. Калмыкова, А. М. Кузьмичева, Н. Ю. Носкова ; заявитель Акционерное общество "Вимм-Билль-Данн". EDN CDAAUH.

3. Гурьева, К. Б. Прогнозирование сроков годности мясных консервов в реторт-пакетах по ускоренному эксперименту / К. Б. Гурьева, С. Ю. Солдатова // Сурский вестник. 2023. № 3(23). С. 66-70. DOI 10.36461/2619-1202_2023_03_011. EDN LGYTLJ.

4. Севостьянова Е.М. Изучение возможности применения методов ускоренного старения для прогнозирования сроков годности газированных безалкогольных напитков/ Е.М. Севостьянова, О.А. Соболева, И.Л. Ковалева, А.М. Алтаева//Актуальные вопросы индустрии напитков. 2019.-№3.С.196-200.

5. Прогноз сроков хранения продовольственных товаров на основе экспериментов, выполненных при повышенных температурах/ Ю.И. Сидоренко // Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции. 2013. № 3. С. 27–32 (часть 1); № 4. С. 30–32 (часть 2).

6. Прогнозирование срока годности кондитерских изделий в условиях ускоренного хранения: обзор предметного поля / Н. Б. Кондратьев, О. С. Руденко, М. В. Осипов, А. Е. Баженова // Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 4. С. 22-39. DOI 10.36107/spfp.2022.354. EDN VBCFQB.

7. Биотехнологические аспекты прогнозирования сроков годности пищевой продукции ускоренным методом / Л. Е. Мелешкина, А. В. Снегирева, А. В. Васильева [и др.] // Актуальная биотехнология. 2022. № 1. С. 105-109. EDN LWWYOR.

8. Школьникова, М. Н. Возможность применения метода "ускоренного старения" для прогнозирования сроков годности безалкогольных бальзамов / М. Н. Школьникова // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 1(12). С. 53-57. EDN KUFVJJ.

9. Матвеева, Н. А. Прогнозирование срока годности

методом ускоренного тестирования в технологии напитков функционального назначения / Н. А. Матвеева, А. Р. Хасанов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2016. № 4. С. 75-82. EDN YQDDFM.

10. Клавкина, Т. А. Прогнозирование сроков годности сиропов функциональной направленности с использованием метода «ускоренного старения» / Т. А. Клавкина, Н. Т. Пехтерева // Актуальные проблемы развития общественного питания и пищевой промышленности : Материалы VI Международной научно-практической и научно-методической конференции, Белгород, 16 марта 2022 года. Белгород: Автономная некоммерческая организация высшего образования «Белгородский университет кооперации, экономики и права», 2022. С. 37-44. EDN BSKOMH.

11. Севостьянова, Е. М. Обзор методов "ускоренного старения" для обоснования сроков годности продуктов безалкогольной отрасли / Е. М. Севостьянова, А. В. Данилян // Пиво и напитки. 2018. № 3. С. 56-59. EDN YKWDAL.

12. Изменение физико-химического состава пивных напитков в результате их искусственного старения / Л. Н. Харламова, И. В. Лазарева, М. Ю. Синельникова [и др.] // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие» : Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие», Санкт-Петербург, 10–13 марта 2021 года. СПб: ГНИИ «Нацразвитие», 2021. С. 125-128. DOI 10.37539/MAR314.2021.99.10.014. EDN BVPVCB.

Информация об авторах

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

А.В. Снегирева - кандидат технических наук, доцент, с.н.с. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

О.Н. Мусина – доктор технических наук, профессор, г.н.с. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

А.С. Стрельцова – инженер-исследователь ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

REFERENCES

1. Terentyev, A. I. & Tikhonov S. L. (2019). Ways to increase the shelf life of food products (review). Trends in the development of world trade in the XXI century : Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 55th anniversary of the educational institution, Perm, October 22-31, 2019. Perm: Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics, 2019. pp. 241-248. EDN GQBPND. (In Russ.).

2. Kalmykova E. A., Kuzmicheva A.M. & Noskova N. Y. (2020). Method for determining the shelf life of food products: Patent No. 2732595 C1 Russian Federation, IPC G01N 33/02. No. 2019117523 : application 05.06.2019 : publ. 09/21/2020; applicant Joint Stock Company "Wimm-Bill-Dann". EDN CDAAUH. (In Russ.).

3. Guryeva, K. B. & Soldatova S. Y. (2023). Forecasting the shelf life of canned meat in retort packages according to an accelerated experiment. Sursky vestnik. 3(23). 66-70. DOI 10.36461/2619-1202_2023_03_011. EDN LGYTLJ. (In Russ.).

4. Sevostyanova E.M., Soboleva O.A., Kovaleva I.L. & Altaieva A.M. Sevostyanova E.M. (2019). Studying the possibility of using accelerated aging methods to predict the shelf life of carbonated soft drinks. Current issues of the beverage industry. 3.196-200. (In Russ.).

5. Sidorenko Yu.I. (2013). Forecast of shelf life of food products based on experiments performed at elevated temperatures. Storage and processing of agricultural products. (3). 27-32 (Part 1); 4. 30-32 (Part 2). (In Russ.).

6. Kondratiev N. B., Rudenko O. S., Osipov M. V. & Bazhenova A. E. (2022). Forecasting the shelf life of confectionery products in conditions of accelerated storage: a review of the subject field. Storage and processing of agricultural raw materials. (4). 22-39. DOI 10.36107/spfp.2022.354. EDN VBCFQB. (In Russ.).

7. Meleshkina L. E., Snehireva A.V., Vasilyeva A.V. [et al.] (2022). Biotechnological aspects of forecasting the shelf life of food products by the accelerated method / // Actual biotechnology. (1). 105-109. EDN LWWYOR. (In Russ.).

8. Shkolnikova, M. N. (2009). The possibility of using the "accelerated aging" method to predict the shelf life of non-alcoholic balms. Technology and technology of food production. 1(12). 53-57. EDN KUFVJJ. (In Russ.).

9. Matveeva, N. A. & Khasanov A. R. (2016). Forecasting the shelf life by the accelerated testing method in the technology of functional purpose. Scientific Journal of ITMO Research University. Series: Processes and devices of food production. (4). 75-82. EDN YQDDFM. (In Russ.).

10. Klavkina, T. A. & Pekhtereva, N. T. (2022). Forecasting the shelf life of functional syrups using the "accelerated aging" method. Actual problems of the development of public nutrition and the food industry : Materials of the VI International Scientific-practical and scientific-methodological Conference, Belgorod, March 16, 2022. Belgorod: Autonomous Non-commercial Organization of Higher Education "Belgorod University of Cooperation, Economics and Law", 2022. 37-44. EDN BSKOMH. (In Russ.).

11. Sevostyanova, E. M. & Danilyan A.V. (2018). Review of the methods of "accelerated aging" to justify the shelf life of products of the non-alcoholic industry. Beer and beverages. (3). 56-59. EDN YKWDAL. (In Russ.).

12. Kharlamova L. N., Lazareva I. V., Sinelnikova M. Yu. [et al.] (2021). Changes in the physico-chemical composition of beer drinks as a result of their artificial aging. Proceedings of conference of the GNII "National Development" : A collection of selected articles based on materials of conference GNII "National Development", 125-128. DOI 10.37539/MAR314.2021.99.10.014. EDN BVPVCB.

Information about the authors

L.E. Meleshkina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of Polzunov Altai State Technical University.

A.V. Snegireva - Associate Professor, Senior Researcher of Polzunov Altai State Technical University.

O.N. Musina – D.Sc., Full professor of the Institute of Polzunov Altai State Technical University.

A.S. Streltsova – research engineer of Polzunov Altai State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 29 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 29 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 14–22.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 14–22.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.1
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.002 EDN: TEXBWQ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОВОЩНЫХ ПОРОШКОВ В ТЕХНОЛОГИИ БЕСКЛЕЕВОЙ ПАСТИЛЫ

Антонина Александровна Рядинская [1], Сергей Александрович Чуев [2], Иван Александрович Кощаев [3], Кристина Витальевна Лавриненко [4]

[1, 2, 3, 4] Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, п. Майский, Россия,
[1] antonina.yurchenko.63@mail.ru

Аннотация. *Авторами изучено изменение качества пастильных изделий из печеных яблок с связи с введением в рецептуру тонкодисперсных овощных порошков. В статье рассмотрены показатели образцов фруктово-овощной пастилы, произведенной в лабораторном эксперименте на основе оригинальных рецептурных композиций, включающих плоды яблони и тонкодисперсные овощные порошки в дозировке 10 % от массы основного сырья. Разработаны отдельные технологические приемы изготовления фруктово-овощных пастильных изделий на основе отечественной растениеводческой продукции. Основным сырьем послужила сортовая смесь яблок местного производства, вспомогательным – тонкодисперсные овощные порошки столовой свеклы, шпината, столовой моркови и томата.*

Изучена пищевая и энергетическая ценность разработанных фруктово-овощных пастильных изделий в сравнении с продуктом, произведенном по традиционной рецептуре Белевской пастилы. Исследовано влияние тонкодисперсных овощных порошков на органолептические свойства пастильных изделий. Полученные виды фруктово-овощной пастилы имели следующие преимущества. Внесение добавок значительно не повлияло на вкус и запах продукта, однако способствовало их обогащению минералами и витаминами. В случае добавлении в рецептуру пастильных изделий тонкодисперсного порошка столовой свеклы по сравнению с фруктовой пастилой увеличилось содержание железа, витаминов B_1 и B_2; шпината – натрия, калия, кальция, магния, железа, витаминов B_1 и PP; столовой моркови – калия, фосфора, витаминов B_1 и A; томата – калия, кальция, магния, фосфора, витаминов B_1, B_2, PP и A.

Ключевые слова: *тонкодисперсные овощные порошки, пастильные изделия, яблоки, столовая свекла, шпинат, столовая морковь, томат.*

Для цитирования: Рядинская А. А., Чуев С. А., Кощаев И. А., Лавриненко К. В. Использование тонкодисперсных овощных порошков в технологии бесклеевой пастилы // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 14 – 22. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.002, EDN: https://elibrary.ru/TEXBWQ.

Original article

USE OF FINE VEGETABLE POWDERS IN GLUE-FREE PASTILLE TECHNOLOGY

Antonina A. Ryadinskaya [1], Sergey A. Chuev [2], Ivan A. Koshchaev [3], Kristina V. Lavrinenko [4]

[1, 2, 3, 4] Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin, Maysky village, Russia
[1] antonina.yurchenko.63@mail.ru

Abstract. *The authors studied the change in the quality of pastille products from baked apples due to the introduction of finely dispersed vegetable powders into the formulation. The article considers the indicators of samples of fruit and vegetable pastilles produced in a laboratory experiment based on original prescription compositions, including apple fruits and finely dispersed vegetable powders in a dosage of 10 % by weight of the main raw material. Separate technological techniques for the manufacture of fruit and vegetable pastilles based on domestic crop production have been developed. The main raw material was a varietal mixture of locally produced apples, the auxiliary was finely dispersed vegetable powders of table beetroot, spinach, table carrot and tomato.*

The nutritional and energy value of the developed fruit and vegetable pastilles has been studied in comparison with the product produced according to the traditional recipe of Belevskaya pastille. The effect of finely dispersed vegetable powders on the organoleptic properties of pastilles has been studied. The resulting types of fruit and vegetable pastilles had the following advantages. The addition of additives did not significantly affect the taste and smell of the

© Рядинская А. А., Чуев С. А., Кощаев И. А., Лавриненко К. В., 2024

product, but contributed to their enrichment with minerals and vitamins. In the case of adding fine powder of table beet to the formulation of pastilles, compared with fruit pastille, the content of iron, vitamins B1 and B2 increased; spinach – sodium, potassium, calcium, magnesium, iron, vitamins B1 and PP; table carrots – potassium, phosphorus, vitamins B1 and A; tomato – potassium, calcium, magnesium, phosphorus, vitamins B1, B2, PP and A.

Keywords: *fine vegetable powders, pastilles, apples, table beetroot, spinach, table carrot, tomato.*

For citation: Ryadinskaya, A.A., Chuev, S.A. Koshchaev, I.A., & Lavrinenko, K.V. (2024). Use of fine vegetable powders in glue-free pastille technology. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 14-22. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.002. EDN: https://elibrary.ru/TEXBWQ.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сладкие продукты представлены на отечественном рынке в широком ассортименте. Это не только кондитерские изделия российских производителей, но и продукты питания разных стран мира. При этом присутствует достаточно высокий запрос на исконно русскую продукцию, например, изделия пастильной группы: зефир и пастилу [1]. Традиционно основным сырьем для их производства служит плодово-ягодное пюре. Однако подобные кондитерские изделия характеризуются рядом недостатков: повышенной энергетической ценностью и дефицитом отдельных полезных нутриентов. Введение в пастильное изделие нестандартного сырья в форме пюре, пасты, порошка или эмульсии может способствовать обогащению продукции витаминами и минеральными соединениями, пищевыми волокнами. Кроме того, данный подход позволяет получить изделия с новыми органолептическими свойствами (вкус и аромат), что повышает привлекательность продукции у потребителя [2].

Плоды, ягоды и овощи богаты физиологически активными веществами. Срок хранения их ограничен. В связи с чем, консервирование плодовоовощного сырья необходимо для круглогодичного потребления и расширения базы пищевых ресурсов, что способствует реализации государственной политики в области здорового питания. К тому же многие виды растительного сырья получают в южных регионах страны.

Производство пастильных изделий известно с 14 века. Для изготовления зефира и пастилы подходят практически любые спелые фрукты или их смесь после механической обработки. Существует несколько видов пастилы. Первый вариант – восточный: сырье не взбивают и не используют загустители. Два других – коломенская и белевская – готовились из тщательно взбитого яблочного пюре, которое выкладывалось на деревянных досках и высушивалось в виде пласта. С течением времени технология совершенствовалась [3].

Цель работы – научно обосновать возможность применения тонкодисперсных овощных порошков в технологии бесклеевой пастилы.

Задачи:

– сформировать оригинальные рецептурные композиции фруктов-овощных пастильных изделий;

– разработать отдельные технологические приемы выработки бесклеевой пастилы с добавлением тонкодисперсных овощных порошков;

– изготовить и исследовать экспериментальные образцы фруктово-овощных пастильных изделий по пищевой ценности, содержанию витаминов и минеральных соединений;

- провести органолептическую оценку бесклеевой пастилы с добавлением тонкодисперсных овощных порошков и выделить лучшие варианты;

- отобрать фруктово-овощные пастильные изделия с отличными свойствами для промышленного производства.

Объекты: разработанные фруктово-овощные пастильные изделия функциональной направленности на основе отечественного растительного сырья.

МЕТОДЫ

Испытания проведены на кафедре технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ и направлены на расширение ассортимента и увеличение пищевой ценности сладких продуктов.

Качественные показатели фруктово-овощных пастильных изделий определены в соответствии с общепринятыми в пищевой промышленности методами.

Данные, полученные в рамках испытаний, обработаны на персональном компьютере посредством пакета программ Р7-Офис.

В ходе проведения исследования рассмотрены фруктово-овощные пастильные изделия:

– контрольное – образец №1 – фруктовая пастила – пастильное изделие, выработанное по традиционной рецептуре Белевской пастилы;

– экспериментальное – образец №2 – фруктово-овощная пастила – пастильное изделие, изготовленное с добавлением тонкодисперсного порошка столовой свеклы;

– экспериментальное – образец №3 – фруктово-овощная пастила – пастильное изделие, выработанное с внесением тонкодисперсного порошка шпината;

– экспериментальное – образец №4 – фруктово-овощная пастила – пастильное изделие, изготовленное с добавлением тонкодисперсного порошка столовой моркови;

– опытный – образец №5 – фруктово-овощная пастила – пастильное изделие, выработанное с внесением тонкодисперсного порошка томата.

Основным сырьем – фруктовым компонентом – выбраны запеченные плоды яблони сортовой смеси, полученные в условиях Белгородской области и обладающих хорошими физико-химическими показателями (рисунок 1) [4].

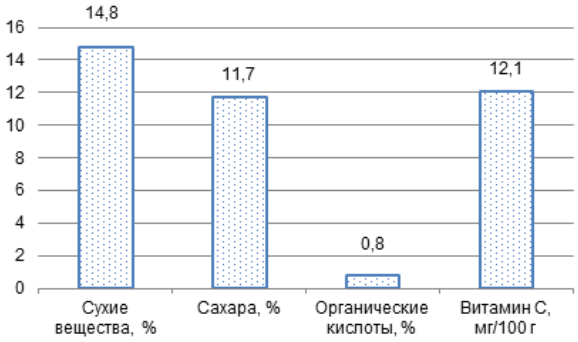


Рисунок 1 – Показатели качества основного сырья

Figure 1 – Quality indicators of the main raw materials

Содержание овощного компонента – тонкодисперсного порошка – в оригинальной рецептурной композиции пастилы составило 5 % к общей массе изделия. Такой объем установлен в ходе пробных выработок и являлся оптимальным для сохранения лучших органолептических показателей готового продукта.

Овощная составляющая представлена сушеными столовой свеклой, шпинатом, столовой морковью и томатом. В пищевых порошках сухое вещество сырья содержится в легкоусвояемой форме и в предпочтительных для организма взрослого человека соотношениях (таблица 1) [5].

Таблица 1 – Химический состав тонкодисперсных овощных порошков

Table 1 – The chemical composition of fine vegetable powders

Показатель	Тонкодисперсный порошок			
	Из столовой свеклы	Из шпината	Из моркови	Из томата
Общий сахар, %	56,6±2,7	19±0,8	49,2±2,3	43,9±2,10
Клетчатка, %	5,4±0,2	13±0,5	7,2±0,3	16,5±0,7
Пектиновые вещества, %	8,3±0,3	4,5±0,1	12,3±0,5	0,1±0,005
Органические кислоты, %	-	1,3±0,05	0,8±0,03	0,5±0,03

Использовались сухие, сыпучие тонкодисперсные порошки, однородные по всей массе, без комков.

Тонкодисперсный порошок столовой свеклы обладал следующими свойствами. Корнеплоды столовой свеклы – один из самых богатых источников физиологически значимых соединений для обмена веществ организма человека. Свекольный порошок полезен для людей, проживающих на территориях с недостатком потребления йода; содержит витамин B_2 в количестве 611,1 % от суточной потребности взрослого человека, витамин С – 12,2 %, витамин РР – 30 %, железо – 244,4 % [6,7].

Тонкодисперсный порошок шпината обладал следующими свойствами. Растение имеет достаточные промысловые запасы. Представляется перспективным сырьем для применения в качестве ингредиента для добавления в различную продукцию для правильного питания поскольку накапливает большое количество антиоксидантов и биофлавоноидов [8]. Шпинат в порошке содержит: β-каротин – 900 % от суточной потребности взрослого человека, витамин B_1 – 66,7 %, витамин B_2 более 138 %, витамин РР – 60 %, калий – 31 %, кальций – 106 %, магний свыше 200 %, фосфор – 103,8 %, железо – 750 % [9].

Тонкодисперсный порошок столовой моркови обладал следующими органолептическими и физико-химическими свойствами. Вкус – приятный сладкий, аромат – сладковатый овощной, цвет – темно-оранжевый, консистенция – волокнистая, массовая доля влаги – 8,9±0,5, активная кислотность – 5,1±0,55 pH. Сушены корнеплоды столовой моркови содержат: такими витаминами и минералами, как: β-каротин – 800 % от суточной потребности взрослого человека, витамин B_2 более 16 %, витамин С свыше 11 %, витамин РР – 13 %, калий – 38,7 %, магний – 14 %, фосфор – 36,8 %, железо – 16,7 % [10].

Тонкодисперсный порошок томата обладает следующими органолептическими и физико-химическими свойствами. Томаты характеризуются уникальным химическим составом, незначительно изменяющимся в зависимости от сортовых особенностей, места и технологии возделывания растений. В белковых веществах томатов накапливаются все незаменимые аминокислоты. В составе жиров обнаружены омега-3 и омега-6 жирные кислоты. Томаты – поливитаминное растительное сырье. Кроме того, в каротиноидах томата большое количество приходится на ликопин, придающий плодам мощные антиоксидантные свойства. Томатный порошок среди овощных добавок лидер по накоплению витамина Е, никотиновой и пантотеновой кислот. Томатный порошок – превосходный ароматизатор и натуральный краситель. Его активно включают в рецептуры первых и вторых блюд, салатов, маринадов, соусов, составы пряных смесей [11]. Томат в порошке содержит: β-каротин в количестве 207 % от суточной потребности взрослого человека, витамин B_1 – 60,9 %, витамин B_2 – 42,3 %, витамином С более 129 %, витамин РР свыше 45 %, калий – 77,1 %, кальций – 16,6 %, магний – 44,5 %, фосфор – 36,9 %, железо – 25,3 % [12-15].

Изготовление экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий проводилось согласно разработанной технологической схеме, приведенной на рисунке 2.

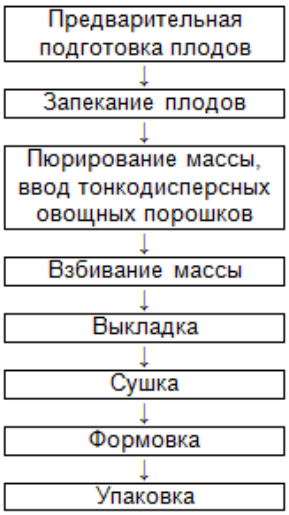


Рисунок 2 – Технологическая схема производства пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков

Figure 2 – Technological scheme for the production of pastilles with the addition of finely dispersed vegetable powders

Плоды яблони в стадии технической зрелости мыли, отделяли от плодоножек, запекали. Затем фруктовую массу пюрировали, вводили тонкодисперсные овощные порошки согласно разработанным рецептурам, взбивали.

Далее полученную фруктово-овощную массу разливали слоем 10 мм на плоскую формующую поверхность и сушили в течение до 5 ч при температуре до 65°С.

Сушили пласты экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий в специализированном шкафу до уменьшения толщины практически в два раза и до влажности не более 25 %.

После снятия с противня пастила эластичная и легко сгибалась, в связи с чем, выполнена скатка изделия в рулон для дальнейшего хранения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После выработки экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий в соответствии с действующей нормативной документацией определены качественные свойства готовых продуктов.

Установлены показатели пищевой ценности (содержание белков, жиров и углеводов) и калорийности (энергетическая ценность); концентрация отдельных минеральных веществ (натрий, калий, кальций, магний, фосфор и железо) и витаминов (С, B_1, B_2, РР и А).

В зависимости от вида фитодобавки уровень накопления белков варьировал от 3 г в яблочно-свекольной, яблочно-морковной и яблочно-томатной пастиле до 4 г в яблочно-шпинатной пастиле (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние тонкодисперсных овощных порошков на пищевую и энергетическую ценности пастильных изделий (в расчете на 100 гр)

Table 2 – The effect of finely dispersed vegetable powders on the nutritional and energy value of pastilles (per 100 g)

Опытный образец	Пищевая ценность, г			Энергетическая ценность (кКал)
	Белки	Жиры	Углеводы	
1	2,5±0,12	1±0,03	**59±3**	260±12
2	3±0,14	1±0,03	**59±3**	260±12
3	**4±0,18**	**1,5±0,04**	57±3	260±12
4	3±0,14	1±0,03	58±3	260±12
5	3±0,14	1±0,03	**59±3**	260±12

Введение в рецептуру пастильных изделий тонкодисперсных овощных порошков позволило увеличить показатель жира на 0,5-1,5 г, или 17-38 %.

Содержание жиров изменялось от 1 г в яблочно-свекольной, яблочно-морковной, яблочно-томатной пастиле до 1,5 г – в яблочно-шпинатной пастиле. Замена фруктового сырья на тонкодисперсный порошок шпината способствовало увеличению показателя наполовину.

Количество углеводов в экспериментальных образцах фруктово-овощных пастильных изделий значительно не менялось и составило от 57 г в яблочно-шпинатной пастиле до 59 г – в яблочно-свекольной и яблочно-томатной пастиле.

Уровень энергетической ценности экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий составил 260 кКал. Замена фруктового сырья на тонкодисперсные овощные порошки не оказала влияния на показатель.

Исследована минеральная составляющая экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий (таблица 3).

В зависимости от вида фитодобавки уровень накопления натрия варьировал от 61,5 г в яблочно-свекольной пастиле до 71,5 г в яблочно-шпинатной пастиле. Содержание калия изменялось от 284,1 г в яблочно-свекольной пастиле до 377 г в яблочно-томатной пастиле. Количество кальция составило от 18 г в яблочно-свекольной пастиле до 69,9 г в яблочно-шпинатной пастиле. В зависимости от вида фитодобавки уровень накопления магния варьировал от 12 г в яблочно-свекольной пастиле до 50,5 г в яблочно-шпинатной пастиле. Содержание фосфора изменялось от 17,3 г в яблочно-свекольной пастиле до 81 г в яблочно-томатной пастиле. Количество железа составило от 2,9 г в яблочно-морковной пастиле до 9,5 г в яблочно-шпинатной пастиле.

Таблица 3 – Влияние тонкодисперсных овощных порошков на минеральный состав пастильных изделий (в расчете на 100 гр)

Table 3 – The effect of finely dispersed vegetable powders on the mineral composition of pastilles (per 100 g)

Опытный образец	Макроэлементы, мг					
	Na	K	Ca	Mg	P	Fe (микро)
1	62,7 ±3,12	295,4 ±14,65	17,8 ±0,78	10,9 ±0,43	16,5 ±0,71	2,9 ±0,12
2	61,5 ±3,06	284,1 ±14,11	18 ±0,81	12 ±0,49	17,3 ±0,75	5 ±0,21
3	**71,5 ±3,44**	319,4 ±15,86	**69,9 ±3,39**	**50,5 ±2,41**	57,9 ±2,76	**9,5 ±0,36**
4	62,5 ±3,03	329 ±16,34	22,1 ±1,05	13,2 ±0,54	69,7 ±3,37	2,9 ±0,12
5	66,2 ±3,21	**377 ±18,74**	25,2 ±1,15	19,3 ±0,85	**81 ±4,01**	3 ±0,14

Изучена витаминная составляющая экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние тонкодисперсных овощных порошков на витаминный состав пастильных изделий (в расчете на 100 гр)

Table 4 – The effect of finely dispersed vegetable powders on the vitamin composition of pastilles (per 100 g)

Опытный образец	Витамины, мг				
	C	B_1	B_2	PP	A (мкг)
1	7,12 ±0,24	0,03 ±0,001	0,15 ±0,006	1 ±0,04	32 ±1,53
2	7,31 ±0,26	0,03 ±0,001	0,7 ±0,02	1,25 ±0,052	30,4 ±1,42
3	7,04 ±0,22	**0,08 ±0,003**	**0,27 ±0,012**	**1,55 ±0,063**	405,4 ±20,16
4	7,26 ±0,25	0,04 ±0,002	0,16 ±0,007	1,08 ±0,084	**2030,4 ±100,31**
5	**12,6 ±0,52**	**0,08 ±0,003**	0,18 ±0,008	1,41 ±0,061	73,5 ±3,56

Концентрация витамина С лучшая у яблочно-томатной пастилы – 12,6 мг. Наивысшее среди экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий содержание витамина B_1 - 0,08 г в яблочно-шпинатной и яблочно-томатной пастиле. Наибольшее количество витаминов B_2 и РР зафиксировано в яблочно-шпинатной пастиле: 0,27 г и 1,55 г соответственно. Лучшее накопление витамина А в яблочно-морковной пастиле – 2030,4 мкг.

ОБСУЖДЕНИЕ

Произведен расчет нутриентного баланса экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий в зависимости от суточной физиологически значимой потребности организма человека в пищевых веществах, энергии, минеральных веществах и витаминах.

Обеспеченность белком варьировала от 4 % в случае обогащения фруктовой пастилы тонкодисперсным порошком столовой свеклы, столовой моркови, томата до 5 % – при внесении тонкодисперсного порошка шпината.

Насыщение жиром экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий изменялось от 1 % при внесении во фруктовую пастилу тонкодисперсного порошка столовой свеклы, столовой моркови, томата до 2 % – в случае добавления тонкодисперного порошка шпината.

Обеспеченность углеводами и энергией яблочной пастилы с фитодобавками составила 16 % и 10 % соответственно. Вид используемого тонкодисперсного порошка не оказал влияние на показатель.

Насыщение натрием варьировала от 5 % в случае обогащения фруктовой пастилы тонкодисперным порошком столовой свеклы, столовой моркови, томата до 6 % – при внесении тонкодисперсного порошка шпината.

Насыщение калием изменялось от 8 % при внесении во фруктовую пастилу тонкодисперсного порошка столовой свеклы до 11 % – в случае добавления тонкодисперного порошка шпината.

Обеспеченность кальцием и магнием варьировала от 2 % и 3 % соответственно у фруктовой пастилы с частичной заменой массы основного сырья на тонкодисперсные порошки корнеплодов столовых овощей до 7 % и 13 % соответственно – у пастильного изделия, обогащенного тонкодисперсным порошком шпината.

Обеспеченность фосфором варьировала от 2 % при внесении во фруктовую пастилу тонкодисперсного порошка столовой свеклы до 10 % – в случае добавления тонкодисперного порошка томата.

Насыщение железом изменялось от 21 % у фруктовой пастилы с частичной заменой массы основного сырья на тонкодисперсные порошки столовой моркови и томата до 68 % – у пастильного изделия, обогащенного тонкодисперсным порошком шпината.

Обеспеченность витамином С составила от 12 % при внесении во фруктовую пастилу тонкодисперсного порошка столовой свеклы, шпината, столовой моркови до 21 % – в случае добавления тонкодисперного порошка томата.

Насыщение витамином B_1 зафиксировано от 2 % у фруктовой пастилы с частичной заменой массы основного сырья на тонкодисперсный порошок столовой свеклы до 6 % – у пастильного изделия, обогащенного тонкодисперсным порошком шпината.

Обеспеченность витамином B_2 варьирова-

ла от 10 % в случае обогащения фруктовой пастилы тонкодисперсным порошком столовой моркови до 44 % – при внесении тонкодисперсного порошка столовой свеклы.

Насыщение витамином РР изменялось от 15 % при внесении во фруктовую пастилу тонкодисперсного порошка столовой свеклы до 17 % – в случае добавления тонкодисперного порошка томата.

Обеспеченность витамином А варьировала от 6 % у фруктовой пастилы с частичной заменой основного сырья на тонкодисперсный порошок столовой моркови до 9 % – у пастильного изделия, обогащенного тонкодисперсным порошком шпината.

Функциональные свойства разработок подтвердились способностью насыщать питание человека отдельными веществами – углеводами, железом, витаминами С, B_2 и А– более 15 % (ГОСТ Р 56145-2014) при потреблении 100 г фруктовой пастилы, обогащенной овощным сырьем.

100 г фруктово-овощной пастилы с частичной заменой массы основного сырья на тонкодисперсный порошок столовой свеклы способны обеспечить белками на 4 %, жирами – 1 %, углеводами – 16 % (рисунок 3); натрием – 5 %, калием – 8 %, кальцием – 2 %, магнием – 3 %, фосфором – 2 %, железом – 35 %; витамином С – 12 %, витамином B_1 – 2 %, витамином B_2 – 44 %, витамином РР – 7 %, витамином А – 4 %, энергией – 10 %.

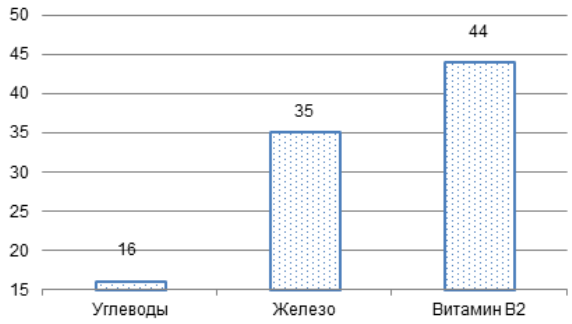


Рисунок 3 – Функциональная направленность яблочно-свекольной пастилы

Figure 3 – The functional orientation of apple-beet pastille

100 г фруктово-овощной пастилы с частичной заменой массы основного сырья на тонкодисперсный порошок шпината способны обеспечить белками на 5 %, жирами – 2 %, углеводами – 16 % (рисунок 4); натрием – 6 %, калием – 9 %, кальцием – 7 %, магнием – 13 %, фосфором – 7 %, железом – 68 %; витамином С – 12 %, витамином B_1 – 6 %, витамином B_2 – 17 %, витамином РР – 9 %, витамином А – 51 %, энергией – 10 %.

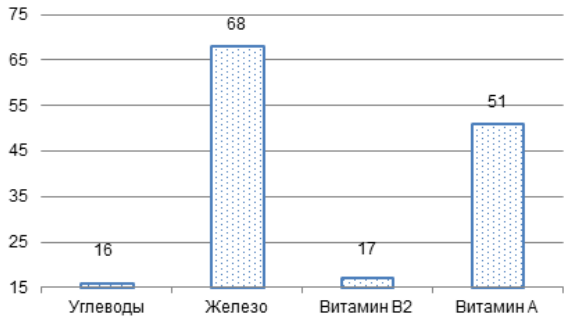


Рисунок 4 – Функциональная направленность яблочно-шпинатной пастилы

Figure 4 – The functional orientation of the apple-spinach pastille

100 г фруктово-овощной пастилы с частичной заменой массы основного сырья на тонкодисперсный порошок столовой моркови способны обеспечить белками на 4 %, жирами – 1 %, углеводами – 16 % (рисунок 5); натрием – 5 %, калием – 9 %, кальцием – 2 %, магнием – 3 %, фосфором – 9 %, железом – 21 %; витамином С – 12 %, витамином B_1 – 3 %, витамином B_2 – 10 %, витамином РР – 6 %, витамином А – 254 %, энергией – 10 %.

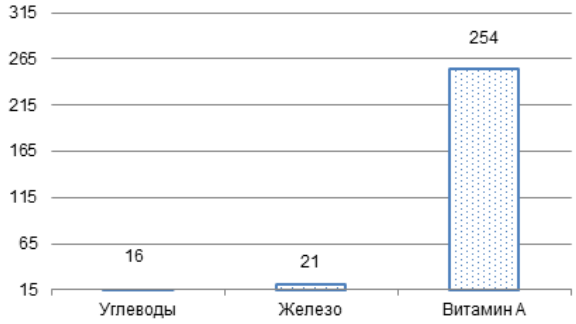


Рисунок 5 – Функциональная направленность яблочно-морковной пастилы

Figure 5 – The functional orientation of the apple-carrot pastille

100 г фруктово-овощной пастилы с частичной заменой массы основного сырья на тонкодисперсный порошок томата способны обеспечить белками на 4 %, жирами – 1 %, углеводами – 16 % (рисунок 6); натрием – 5 %, калием – 11 %, кальцием – 3 %, магнием – 5 %, фосфором – 10 %, железом – 21 %; витамином С – 21 %, витамином B_1 – 5 %, витамином B_2 – 12 %, витамином РР – 7 %, витамином А – 8 %, энергией – 9 %.

Организованы органолептические испытания экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков согласно ГОСТ 6441-2014.

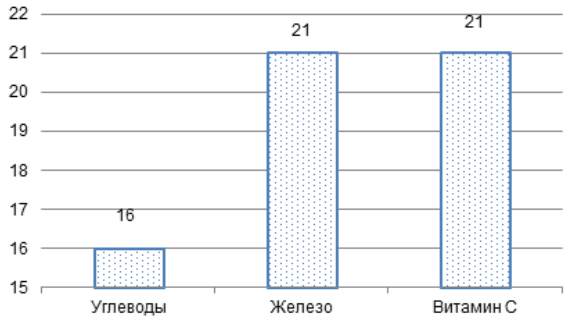


Рисунок 6 – Функциональная направленность яблочно-томатной пастилы

Figure 6 – Functional orientation of apple-tomato pastille

Комиссионно установлены качественные показатели сладких продуктов по органолептическим показателям. Определено соответствие вкуса и запаха, цвета, консистенции, структуры, формы и поверхности пастилы условиям ГОСТ 6441-2014 (рисунок 7).

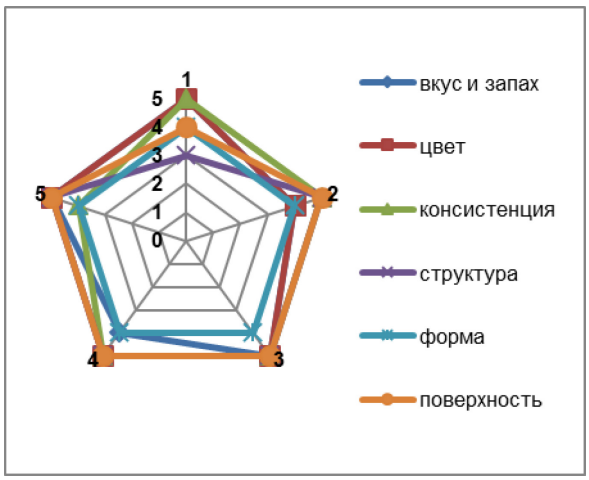


Рисунок 7 – Органолептическая оценка пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков

Figure 7 – Organoleptic evaluation of pastilles with the addition of finely dispersed vegetable powders

На заключительном этапе разработки и испытаний фруктово-овощных пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков выявлены соответствие нормам по микробиологическим и гигиеническим показателям ТР ТС 034/2013 и ТР ТС 021/2011.

Микробиологические испытания на промышленную стерильность (по ГОСТ 30425-97) позволили судить о соответствии всех экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков установленным требованиям.

Выбранный процесс изготовления и разработанные рецептурные композиции способствовали микробиологической безопасности сладких продуктов и сформировали предпосылки для их последующего успешного хранения.

Выполнены исследования экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков по санитарно-гигиеническим показателям безопасности: концентрация токсичных элементов, пестицидов и радионуклидов в массе сладких продуктах не превышало норм ТР ТС 034/2013.

Содержание свинца, мышьяка, кадмия, ртути зафиксировано на уровне значительно меньшем, чем предельные концентрации.

Уровень гексахлорциклогексана, ДДТа и метаболитов, цезия 137 в массе экспериментальных образцов фруктово-овощных пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков не превышал допустимых знаний.

ВЫВОДЫ

Получены рецептурные композиции и отдельные технологические приемы изготовления фруктово-овощных пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков без отклонений от требований нормативных документов для правильного и разнообразного питания взрослого населения.

Обоснована и доказана целесообразность замены части фруктового сырья на овощное, как в отношении разработки пастильных изделий функционального назначения, так и для улучшения качества сладких продуктов.

Фруктово-овощных пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков служат источником (содержание свыше 15 % от суточной потребности) углеводов и железа. Кроме того, при обогащении сушеным томатом выступает источником витамина С, столовой свеклой или шпинатом – витамином B_2, шпинатом и столовой морковью – витамином А.

Использование предлагаемых рецептурных композиций фруктово-овощных пастильных изделий с добавлением тонкодисперсных овощных порошков функциональной направленности в промышленном производстве будет способствовать расширению ассортимента сладких продуктов, увеличению заинтересованности и получения признания потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинникова, Е. Е. Анализ рынка пастильных изделий (на примере города Екатеринбурга) / Е. Е. Овчинникова // Конкурентоспособность территорий: Материалы XXIV Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. В 4-х частях, Екатеринбург, 27–30 апреля 2021 года / Отв. за выпуск: Я. П. Силин, В. Е. Ковалев. Том Часть 1. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2021. – С. 25-27. – EDN JZODIZ.

2. Янова, М. А. Разработка нового вида кондитерского изделия пастильной группы (зефира) с добавлением яблочно-морковного пюре / М. А. Янова, А. В. Ларькина, А. В. Сазонова // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 2(191). – С. 228-235. – DOI 10.36718/1819-4036-2023-2-228-235. – EDN NSOOQB.

3. Мунгиева, Н. А. Особенности производства восточной фруктовой пастилы / Н. А. Мунгиева, И. М. Ашурбеков, Н. М. Мусаева // Проблемы развития АПК региона. – 2019. – № 2(38). – С. 291-293. – EDN AXAOER.

4. Рядинская, А. А. Хранение и переработка яблок Белгородской области / А. А. Рядинская. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательские решения», 2023. – 80 с. – ISBN 978-5-0062-1911-3. – EDN EXYRHW.

5. Применение плодовых и овощных порошков в производстве хлеба / Э. Ш. Манеева, А. В. Быков, Э. Ш. Халитова [и др.] // Хлебопродукты. – 2018. – № 11. – С. 51-53. – DOI 10.32462/0235-2508-2018-0-11-51-53. – EDN YLSILZ.

6. Пчелинцева, О. Н. Потребительские свойства песочного печенья с добавлением кукурузной муки и свекольного порошка / О. Н. Пчелинцева, З. А. Бочкарева, Е. А. Лукьянова // Ползуновский вестник. – 2020. – № 1. – С. 85-89. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.017. – EDN YGLHAG.

7. Свекольный порошок, как функциональный компонент в продуктах питания / М. А. Щугорев, А. Г. Нечепорук, Е. Н. Третьякова, Н. А. Грачева // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов: материалы XI всероссийской научно-практической конференции, Махачкала, 20–21 октября 2021 года. – Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2021. – С. 51-55. – EDN FPBCJC.

8. Воробьева, Ю. В. Использование порошка шпината в технологии производства мясных изделий из мяса кролика / Ю. В. Воробьева // Студенческая наука - взгляд в будущее : Материалы XVIII Всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 15–17 марта 2023 года. Том Часть 6. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 14-18. – EDN UKIOZP.

9. Обоснование использования порошка шпината в технологии мягкого сыра / А. Н. Негреева, Н. А. Грачева, Е. Н. Третьякова, А. Г. Нечепорук // Проблемы конкурентоспособности потребительских товаров и продуктов питания : сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции, Курск, 09 апреля 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 273-275. – EDN MDIGLP.

10. Применение тонкодисперсных овощных и фруктовых порошков в технологии ржано-пшеничных хлебобулочных изделий / С. Я. Корячкина, В. П. Корячкин, О. Л. Ладнова, Е. Н. Холодова // Хлебопродукты. – 2017. – № 7. – С. 36-39. – EDN YTXBLB.

11. Русина, И. М. Порошок томатов как перспективная добавка для активации хлебопекарных дрожжей при производстве крекеров / И. М. Русина, И. М. Колесник // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 66-77. – EDN OOXSEB.

12. Алтухов, И. В. Перспективы применения томатного порошка в рецептуре песочного печенья / И. В. Алтухов, С. М. Быкова, В. Д. Очиров // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 12(177). – С. 254-259. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-12-254-259. – EDN DXFZID.

13. Серикова, К. К. Разработка рецептуры крекеров с использованием муки из семян тыквы и порошка из томатов / К. К. Серикова, Л. И. Пусенкова, Г. Р. Гарипова // Наука. Образование. Профессия: материалы II Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, Уфа, 13–14 апреля 2023 года / МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ; МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН; ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ». – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2023. – С. 131-135. – EDN QEYQPB.

14. Бураева, Н. Н. Способы получения порошка из высушенных томатов и моркови / Н. Н. Бураева // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона : Сборник научных тезисов студентов, Иркутск, 26 ноября 2020 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2020. – С. 117-118. – EDN GSXXZH.

15. Курасова, Л. А. Разработка технологии получения ликопинсодержащего томатно-масляного экстракта для пищевых целей / Л. А. Курасова, А. Ж. Сарсенова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2023. – Т. 11, № 3. – С. 15-22. – DOI 10.14529/food230302. – EDN OATZRU.

Информация об авторах

А. А. Рядинская – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ (e-mail: antonina.yurchenko.63@mail.ru).

С. А. Чуев – кандидат биологических наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

И. А. Кощаев – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

К. В. Лавриненко – ассистент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

REFERENCES

1. Ovchinnikova, E. E. Analysis of the pastille products market (on the example of the city of Yekaterinburg) (2021). Competitiveness of territories: Materials of the XXIV All-Russian Economic Forum of Young Scientists and Students. In 4 parts, Yekaterinburg, April 27-30, 2021. Volume Part 1. Yekaterinburg: Ural State University of Economics, pp. 25-27.EDN JZODIZ (In Russ.).

2. Yanova, M. A., Larkina A.V., Sazonova A.V. (2023). Development of a new type of confectionery of the pastille group (marshmallows) with the addition of apple and carrot puree. Bulletin of KrasGAU. 2(191). 228-235. DOI 10.36718/1819-4036-2023-2-228-235. EDN NSOOQB (In Russ.).

3. Mungieva, N. A. Ashurbekov I. M., Musaeva N. M. (2019). Features of the production of oriental fruit pastilles. Problems of the development of the agroindustrial complex of the region. 2(38). 291-293. EDN AXAOER (In Russ.).

4. Ryadinskaya, A. A. (2023). Storage and processing of apples of the Belgorod region. Moscow: Publishing Solutions Limited Liability Company, ISBN 978-5-0062-1911-3. EDN EXYRHW (In Russ.).

5. Maneeva E. Sh., Bykov A.V., Khalitova E. Sh. [et al.] (2018). The use of fruit and vegetable powders in the

production of bread. Bread products. (11). 51-53. DOI 10.32462/0235-2508-2018-0-11-51-53. EDN YLSILZ (In Russ.).

6. Pchelintseva, O. N., Bochkareva Z. A., Lukyanova E. A. (2020). Consumer properties of shortbread cookies with the addition of corn flour and beet powder. Polzunovsky vestnik. (1). 85-89. DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.017. EDN YGLHAG (In Russ.).

7. Shchugorev M. A., Necheporuk A. G., Tretyakova E. N., Gracheva N. A. (2021). Beetroot powder as a functional component in food. Improving the quality and safety of food products: materials of the XI All-Russian scientific and practical conference, Makhachkala, October 20-21, 2021. Makhachkala: Dagestan State Technical University, pp. 51-55. EDN FPBCJC (In Russ.).

8. Vorobyova, Yu. V. (2023). The use of spinach powder in the production technology of meat products from rabbit meat. Student Science - a look into the future : Proceedings of the XVIII All-Russian Student Scientific Conference, Krasnoyarsk, March 15-17, 2023. Volume Part 6. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, pp. 14-18. EDN UKIOZP (In Russ.).

9. Negreeva A. N., Gracheva N. A., Tretyakova E. N., Necheporuk A. G. (2021). Justification of the use of spinach powder in soft cheese technology. Problems of competitiveness of consumer goods and food products: collection of scientific articles of the 3rd International Scientific and Practical Conference, Kursk, April 09, 2021. Kursk: Southwestern State University, pp. 273-275. EDN MDIGLP (In Russ.).

10. Koryachkina S. Ya., Koryachkin V. P., Ladnova O. L., Kholodova E. N. (2017). The use of finely dispersed vegetable and fruit powders in the technology of rye-wheat bakery products. Bread products. (7). 36-39. EDN YTXBLB (In Russ.).

11. Rusina, I. M., Kolesnik I. M. (2020). Tomato powder as a promising additive for activating baking yeast in the production of crackers. Bulletin of the Yanka Kupala Grodno State University. Series 6. Technique. 10(1). 66-77. EDN OOXSEB (In Russ.).

12. Altukhov, I. V., Bykova S. M., Ochirov V. D. (2021). Prospects for the use of tomato powder in the formulation of shortbread cookies. Bulletin of KrasGAU. 12(177). 254-259. DOI 10.36718/1819-4036-2021-12-254-259. EDN DXFZID (In Russ.).

13. Serikova, K. K. Pusenkova L. I., Garipova G. R. (2023). Development of a cracker recipe using pumpkin seed flour and tomato powder. Nauka. Education. Profession: materials of the II All-Russian Scientific and Methodological Conference with international participation, Ufa, April 13-14, 2023 / MINISTRY OF AGRICULTURE OF THE RUSSIAN FEDERATION; MINISTRY OF AGRICULTURE OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN; FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION "BASHKIR STATE AGRARIAN UNIVERSITY". Ufa: Bashkir State Agrarian University, pp. 131-135. EDN QEYQPB (In Russ.).

14. Buraeva, N. N. (2020). Methods of obtaining powder from dried tomatoes and carrots. The importance of scientific student circles in the innovative development of the agro–industrial complex of the region : Collection of scientific theses of students, Irkutsk, November 26, 2020. P. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, pp. 117-118. EDN GSXXZH (In Russ.).

15. Kurasova, L. A. Sarsenova A. J. (2023). Development of technology for obtaining lycopene-containing tomato oil extract for food purposes. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 11(3). 15-22. DOI 10.14529/food230302. EDN OATZRU (In Russ.).

Information about the authors

A. A. Ryadinskaya – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

S. A. Chuev – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

I.A. Koshchaev – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Faculty of Technology of the Belgorod State Agrarian University.

K.V. Lavrinenko – assistant of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

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

Статья поступила в редакцию 20 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 20 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 23–28.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 23–28.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.641
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.003 EDN: WUXTVB

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ОБОГАЩЕННЫХ ГАЛЕТ

Светлана Ивановна Конева [1], Александра Сергеевна Захарова [2]

[1, 2] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[1]skoneva22@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6727-5979
[2]zakharovatpz@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7571-0950

Аннотация. *Представлены результаты исследований влияния измельченной пчелиной перги и порошка клюквы в качестве источника биологически активных веществ на качественные характеристики многокомпонентных смесей для галет. Изучены органолептические и физико-химические характеристики многокомпонентных смесей, с учетом органолептической оценки готовых изделий спроектированы составы многокомпонентных смесей.*

Установлено увеличение кислотности на 0,5 – 1,5 градусов смесей с добавлением перги и резкое возрастание кислотности смесей при внесении порошка клюквы. Превышение дозировки порошка клюквы более 6 % нецелесообразно, так как может привести к дефектам тестоприготовления и придать готовым галетам кислый вкус. Показано, что в образцах смесей с добавлением 2-6% перги отмечается снижение водопоглотительной способности (ВПС). При внесении порошка клюквы в дозировках 2 и 4 % отмечено повышение водопоглотительной способности, очевидно, за счет содержания пищевых волокон и пектинов. Совместное внесение перги и порошка клюквы не оказало влияние на ВПС смеси, оставив ее на уровне контрольного образца муки.

Экспериментально доказано укрепляющее влияние измельченной перги и порошка клюквы на клейковинный комплекс многокомпонентных смесей с одновременным снижением количества отмываемой клейковины. Сделан вывод о невозможности отмывания клейковины стандартным способом при дозировках порошка клюквы более 2%. Наиболее эффективными являются многокомпонентные смеси № 2, № 3, № 5, № 6, № 8 и № 9.

Ключевые слова: *многокомпонентные смеси, перга пчелиная, порошок клюквы, биологически активные вещества, галеты, качественные характеристики, белково-протеиназный комплекс, кислотность, обогащение.*

Благодарности: *Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (№ 075-03-2024-105, номер темы FZMM-2024-0003, рег. № НИОКТР 124013000666-5).*

Для цитирования: Конева С. И., Захарова А. С. Проектирование состава многокомпонентных смесей для обогащенных галет // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 23 – 28. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.003, EDN: https://elibrary.ru/wuxtvb.

Original article

DESIGNING THE COMPOSITION OF MULTICOMPONENT MIXTURES FOR ENRICHED BISCUITS

Svetlana I. Koneva [1], Alexandra S. Zakharova [2]

[1, 2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[1]skoneva22@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6727-5979
[2]zakharovatpz@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7571-0950

Abstract. *The results of studies of the effect of crushed bee parchment and cranberry powder as a source of biologically active substances on the qualitative characteristics of multicomponent mixtures for biscuits are presented. The organoleptic and physico-chemical characteristics of multicomponent mixtures have been studied, taking into account the organoleptic evaluation of finished products, the compositions of multicomponent mixtures have been designed.*

© Конева С. И., Захарова А. С., 2024

An increase in the acidity of 0.5 – 1.5 degrees of mixtures with the addition of perga and a sharp increase in the acidity of mixtures when applying cranberry powder were found. Exceeding the dosage of cranberry powder by more than 6% is impractical, as it can lead to defects in dough preparation and give the finished biscuits a sour taste. It has been shown that in samples of mixtures with the addition of 2-6 % perga, a decrease in water absorption capacity (VPS) is noted. When applying cranberry powder in dosages of 2 and 4 %, an increase in water absorption capacity was noted, obviously due to the content of dietary fibers and pectins. The combined application of parchment and cranberry powder did not affect the UPC of the mixture, leaving it at the level of the control flour sample.

The strengthening effect of crushed parchment and cranberry powder on the gluten complex of multicomponent mixtures with a simultaneous decrease in the amount of washed gluten has been experimentally proven. It is concluded that it is impossible to wash gluten in a standard way at dosages of cranberry powder of more than 2 %. Multicomponent mixtures are the most effective № 2, № 3, № 5, № 6, № 8 and No. 9.

Keywords: *multicomponent mixtures, bee parchment, cranberry powder, biologically active substances, biscuits, qualitative characteristics, protein-proteinase complex, acidity, enrichment.*

Acknowledgements*: This work was supported by the project № 075-03-2024-105, FZMM-2024-0003, 124013000666-5 from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.*

For citation: Koneva S. I. & Zakharova A. S. (2024) Designing the composition of multicomponent mixtures for enriched biscuits. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 23-28. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.003. EDN: https://elibrary.ru/wuxtvb.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из наиболее остро стоящих проблем территорий Арктического региона является обеспечение продовольственной безопасности. Ввиду сложных природно-климатических условий, неразвитого характера сельхозпроизводства, труднодоступности отдельных регионов для коренного и пришлого населения Арктики характерен недостаток растительной пищи, с которой человеческий организм получает необходимые ему пищевые вещества, в связи с этим отмечается дефицит эссенциальных нутриентов. Нутриционная поддержка населения Арктической зоны должна обеспечивать доступность полноценных продуктов питания, обладающих длительными сроками годности, укрепляющих и сохраняющих здоровье [1, 2, 3].

По мнению ряда авторов, в качестве нутриционной поддержки в профилактическом питании должны выступать продукты с высокой концентрацией эссенциальных компонентов и низким содержанием влаги [1].

В периоды активности не всегда есть возможность спокойно принять пищу, поэтому многие жители Арктической зоны используют легкие сухпайки, чтобы избежать проблем со здоровьем. Такие сухпайки могут быть представлены в виде галет – мучных кондитерских изделий слоистой структуры со сквозными проколами, изготовленных с применением дрожжей и химических разрыхлителей. На современном рынке доступны разнообразные варианты галет, однако они крайне бедны по содержанию биологически активных веществ (витаминов, макро- и микроэлементов, антиоксидантов), пищевых волокон и не могут выступать в качестве профилактического питания. Вместе с тем, благодаря доступности, длительному сроку годности галеты являются отличным объектом для обогащения. Одним из путей создания функциональных галет является использование для их производства готовых многокомпонентных смесей, обогащенных эссенциальными компонентами за счет внесения апипродуктов и ягодных порошков дикоросов.

Из апипродуктов ценным источником биологически активных веществ является пчелиная перга, представляющая собой цветочную пыльцу-обножку, сложенную пчелами, утрамбованную в ячейках сот и залитую медом. Наличие слоя меда, не пропускающего воздух, создает анаэробные условия, при которых активно идет молочнокислое брожение и изменяется химический состав. Уникальность перги заключается в высоком содержании белка (22,5 %), полноценного по своей биологической ценности. Из 17 аминокислот (суммарное количество 22,0 %), обнаруженных в перге, 8 являются незаменимыми.

Липиды перги представлены жирами и жироподобными веществами, общее количество которых 10-11 %. Из жироподобных веществ отмечается наличие фосфолипидов. Перга характеризуется высоким содержанием фитостеринов (0,6—1,6 %), среди которых видное место принадлежит 3-фитостерину, являющемуся антагонистом холестерина в организме [4, 5].

В перге обнаружены значительные количества углеводов (до 35 %), среди которых установлено высокое содержание глюкозы и фруктозы, присутствуют мальтоза и сахароза, крахмал, клетчатка и пектиновые вещества [4, 5].

В перге содержатся жирорастворимые витамины - ретинол, кальциферол, токоферол и водорастворимые витамины, в том числе аскорбиновая кислота, витамины группы В, биотин, витамин Р. Наличие каротиноидов, растительных пигментов, придающих желтый цвет, отмечено в пыльце и перге всех видов растений (66,43 мкг/100г).

Следует отметить наличие в перге «гормона роста» гетероауксина.

Высоко содержание в перге ферментов, регулирующих важнейшие биохимические процессы (амилаза, инвертаза, каталаза, пероксидаза, трегалаза, фосфатаза и другие). Под действием ферментов сахара частично превращаются в молочную кислоту, содержание которой в перге составляет до 3,2 %. Молочная кислота консервирует пергу, повышая тем самым срок годности без потери функциональных свойств.

В состав перги входят более 28 минеральных элементов, таких как калий, фосфор, кальций, магний, медь, железо, цинк, марганец, сера, и другие [4, 5].

Среди дикорастущих ягод по объемам промышленных заготовок и пищевой ценности лидирует клюква. Из органических кислот, содержащихся в ягодах клюквы, преобладает лимонная, яблочная, присутствуют бензойная, хинная, урсоловая, хлорогеновая, щавелевая и янтарная. Из сахаров основное место занимают глюкоза и фруктоза, присутствует сахароза. Из группы полисахаридов наибольшее практическое значение имеют пектины, присутствующие в значительном количестве в ягодах клюквы. Плоды клюквы богаты витаминами С, В1, В2, В5, В6, РР, К. В составе плодов клюквы обнаружены значительные количества биофлавоноидов, макро и микроэлементов. Основной фенольный компонент, присутствующий в клюкве – бензойная кислота, а среди флавоноидов – кверцетин и мирицетин [6, 7, 8].

Порошок клюквы сохраняет все полезные вещества исходного сырья и может применяться в качестве обогащающей добавки. По результатам исследований Присухиной Н. В. с соавторами химический состав порошка клюквы следующий: белки – 0,2 г; жиры – 0,8 г; углеводы –75,8 г; моно- и дисахариды – 70,5 г; пищевые волокна – 5,3 г; органические кислоты – 4,2 г; железо – 0,65 мг; фосфор – 12 мг; калий – 105 мг; натрий – 3 мг; магний – 13 мг; кальций – 12 мг; витамин РР – 0,82 мг; витамин Е – 1 мг; витамин С – 4,1 мг; витамин В9 (фолиевая кислота) – 0,8 мг; витамин В2 (рибофлавин) – 0,01 мг; витамин В1 (тиамин) – 0,08 мг; витамин А – 0,01 мг; витамин Н – 0,02 мг [9].

МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись многокомпонентные смеси, приготовленные из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и обогащающих добавок, и галеты.

В качестве обогащающих добавок использовали порошок сублимированной клюквы и пергу, предварительно измельченную на лабораторной мельнице до прохода частиц через сито с размером ячеек 0,8 мм. Для достижения цели исследований были приготовлены и изучены образцы смесей, состав которых представлен в таблице 1.

Для изучения органолептических и физико-химических показателей качества многокомпонентных смесей были использованы методики согласно следующей действующей документации: ГОСТ 9404-88 «Мука и отруби. Метод определение влажности», ГОСТ 27493-87 «Мука и отруби. Метод определения кислотности по болтушке», ГОСТ 27558-87 «Мука и отруби. Методы определения цвета, запаха, вкуса и хруста», ГОСТ 27839-2013 «Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины» [10 – 13]. Водопоглотительная способность (ВПС) мучных смесей была установлена по общепринятой в отрасли методике.

Таблица 1 – Состав опытных смесей
Table1–Composition of experimentalmixtures

Образцы смесей	Наименование сырья/ Содержание, %		
	Мука пшеничная	Перга пчелиная	Порошок клюквы
1	100	-	-
2	98	2	-
3	96	4	-
4	94	6	-
5	98	-	2
6	96	-	4
7	94	-	6
8	96	2	2
9	92	4	4

Для приготовления галетного теста из многокомпонентных смесей использовали опарный способ. Галеты из экспериментальных смесей выпекали в хлебопекарной печи конвекционного типа UNOX XB 693 по традиционной технологии. В качестве контрольного образца использовали галеты из пшеничной муки без обогащающих добавок. Для оценки качества галет использовали стандартные методики согласно ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей» [14].

При проектировании состава многокомпонентных смесей сначала изучали влияние отдельной вносимой добавки на физико-химические показатели, а затем совместное их влияние на качество смесей и органолептическую оценку выпеченных галет.

РЕЗУЛЬТАТЫИ ОБСУЖДЕНИЕ

Органолептическая оценка качества мучных смесей показала, что внесение измельченной перги в количестве от 2 до 6 % к массе муки придавало смеси желтый оттенок, обусловленный наличием каротиноидов, входящих в состав перги. Добавление порошка сублимированной клюквы в опытных дозировках давало смеси розовый оттенок, интенсивность которого возрастала с увеличением количества вносимой клюквы.

Физико-химические показатели образцов

многокомпонентных смесей в сравнении с мукой пшеничной представлены в таблице 2.

Добавление как перги, так и порошка клюквы не оказало значительного влияния на влажность мучных смесей, которая составляла 12,3 – 12,5 %, отклонения не превышали погрешность методики определения. Кислотность смесей с увеличением дозировки перги возрастала на 0,5 – 1,5 градусов, что обусловлено наличием в составе перги высокого содержания молочной кислоты (3,2 %). Отмечено резкое возрастание кислотности смесей при внесении порошка клюквы. В клюкве различными методами анализа установлен большой набор органических кислот, на долю которых приходится до 3,5 % сырой массы, следовательно, в сухом порошке доля кислот еще больше возрастает. Преобладающими кислотами являются лимонная и яблочная, именно их присутствием и обусловлено повышение кислотности смесей [7].

Таблица 2 – Физико-химические показатели образцов многокомпонентных смесей

Table2–Physico-chemicalparameters of samples of multicomponent mixtures

Номер образца	Наименование показателя	
	Влажность, %	Кислотность, град
1	12,5±0,1	2,2±0,1
2	12,5±0,15	2,7±0,1
3	12,4±0,1	3,2±0,15
4	12,3±0,1	3,7±0,15
5	12,4±0,1	12,4±0,2
6	12,4±0,2	15,9±0,2
7	12,3±0,15	17,6±0,2
8	12,4±0,2	12,0±0,2
9	12,3±0,2	16,0±0,2

Внесение 2 % порошка клюквы дало рост кислотности в 5,5 раз, а увеличение дозировки до 6 % повысило кислотность в 8 раз. В связи с этим, превышение дозировки порошка клюквы более 6 % нецелесообразно, так как высокая кислотность может нарушить технологический процесс и придать готовым галетам кислый вкус. Совместное внесение 2 % измельченной перги и 2 % порошка клюквы повысило кислотность до 12 градусов, а увеличение дозировок добавок до 4 % - до 16 градусов.

На рисунке 1 представлена зависимость водопоглотительной способности мучных смесей (ВПС) от количества перги и порошка клюквы.

В образцах с добавлением перги (образцы № 2-4) отмечается снижение ВПС. Протеины перги представлены водорастворимой фракцией альбуминов и глобулинов, не способных связывать воду, что и привело к снижению водопоглотительной способности на 1 – 2 %. При внесении порошка клюквы в дозировках 2 и 4 % отмечено повышение ВПС, очевидно, за счет содержания пищевых волокон и пектинов. Совместное внесение перги и порошка клюквы не оказало влияние на ВПС смеси, оставив ее на уровне контрольного образца муки.

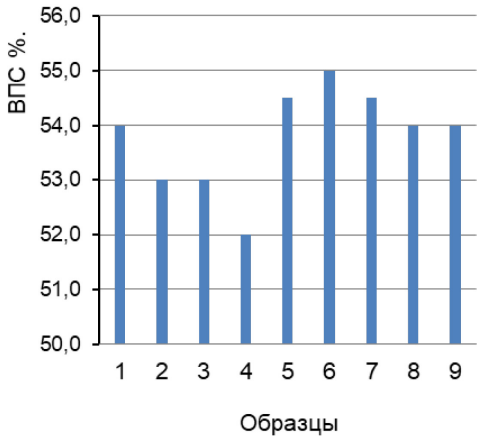


Рисунок 1 – Влияние обогащающих добавок на водопоглотительную способность смесей

Figure1– The effect of enrichingadditiveson the water absorptioncapacity of mixtures

На рисунке 2 представлено изменение количества и качества клейковины смесей в зависимости от дозировки обогатителей.

Добавление измельченной перги способствовало снижению количества отмытой клейковины, укреплению ее упругих свойств.

Протеины перги (альбумины, глобулины и пептоны) не участвуют в образовании клейковины, что и обусловливает снижение ее количества до 29,0-27,0 % по сравнению с пшеничной мукой. Упругие свойства клейковины повышались, она становилась более плотной. Предварительными экспериментами было установлено, что добавление измельченной перги в количестве 8-10 % к массе муки значительно усиливало упругие свойства клейковины, и при дозировке 10 % клейковина представляла собой плохо формирующуюся жесткую массу.

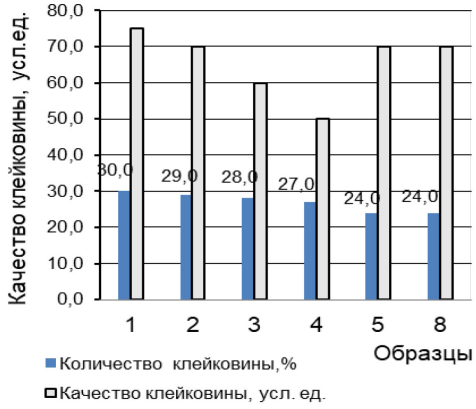


Рисунок 2 – Влияние обогащающих добавок на количество и качество клейковины смесей

Figure 2 – The effect of enrichingadditiveson the quantityandquality of glutenmixtures

Интересны результаты по влиянию порошка клюквы на количество и качество клейковины. Внесение 2 % порошка клюквы к массе муки резко снижало количество отмываемой клейковины до 24,0 %, а по качеству клейковина становилась чуть слабее (70 усл. ед.). С увеличением дозировки порошка клюквы до 4-6 % отмыть клейковину не представилось возможным – по мере отмывания теста происходило растворение полуфабриката, невозможно было собрать комок клейковины. Очевидно, под влиянием повышенной кислотности из-за присутствия органических кислот клюквы изменялась растворимость белков, их гидратационная способность и реологические свойства. Клейковинные белки (глиадин и глютенин) подвергались неограниченному набуханию и по мере отмывания переходили в промывную воду. Нельзя исключать и факт присутствия в порошке клюквы пектинов и водорастворимых пищевых волокон. Возможно, эти соединения образуют с белками муки комплексы, препятствующие слипанию клейковинных белков и развитию губчатой непрерывной пространственной структуры. Полученные экспериментальные данные отличаются от результатов исследований ряда авторов [15], что может быть обусловлено разными физико-химическими свойствами исходного сырья. Совместное внесение 2 % перги и 2 % порошка клюквы (образец №8) привело к снижению количества отмываемой клейковины до 24,0 % за счет высокой кислотности. Упругие свойства клейковины снизились незначительно. Увеличение дозировки порошка клюквы при совместном внесении до 4 % (образец №9) привело полному переходу клейковинных белков в промывную воду.

С целью проектирования рецептуры многокомпонентных смесей и выбора наиболее эффективного состава провели выработку галет из опытных многокомпонентных смесей. Полученные изделия имели правильную форму, без продольной и поперечной деформации, гладкую поверхность с наличием проколов, без вздутий, закала и непромеса.

Добавление измельченной перги в количестве 2-6 % придавало изделиям ярко-желтую окраску, приятный медовый аромат. Из образцов этой группы лучшими были выбраны изделия с добавлением 2 и 4 % перги, т.к. при повышении дозировки перги несколько снижалась хрупкость. При органолептической оценке галет с добавлением порошка клюквы отмечено, что с увеличением дозировок порошка от 4 до 6 % окраска поверхности становилась более темной, с заметными частицами пищевых волокон клюквы, нарушалась форма изделий, снижалась слоистость изделий, повышалась плотность, появлялся кисловатый привкус.

Совместное использование перги и порошка клюквы позволило получить галеты хорошего качества. Галеты из многокомпонентной смеси №8 (2 % перги и 2 % порошка клюквы) отличались правильной формой, светлой желто-оранжевой окраской поверхности, развитой пористостью и слоистостью на изломе. Галеты из многокомпонентной смеси №9 (4 % перги и 4 % порошка клюквы) также имели правильную форму без деформации, развитую пористость и слоистость в изломе. Вкусовой профиль изделий из многокомпонентной смеси №9 был более выражен, с явными фруктовыми и медовыми нотами.

Анализ физико-химических показателей многокомпонентных смесей и органолептической оценки галет показал, что наиболее эффективными являются многокомпонентные смеси №2, №3, №5, №6, №8 и №9.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения экспериментов были изучены органолептические и физико-химические характеристики многокомпонентных смесей, с учетом органолептической оценки готовых изделий спроектированы составы многокомпонентных смесей. Наиболее эффективными являются многокомпонентные смеси №2, №3, №5, №6, №8 и №9.

Установлено увеличение кислотности смесей на 0,5 – 1,5 градусов с добавлением перги и резкое возрастание кислотности смесей при внесении порошка клюквы. Превышение дозировки порошка клюквы более 4 % нецелесообразно, так как может привести к дефектам тестоприготовления и придать готовым галетам кислый вкус. Экспериментально доказано укрепляющее влияние измельченной перги и порошка клюквы на белково-протеиназный комплекс многокомпонентных смесей с одновременным снижением количества отмываемой клейковины. Сделан вывод о невозможности отмывания клейковины стандартным способом при дозировках порошка клюквы более 2 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка технологических решений для создания нутритивной поддержки организма / И.В. Симакова [и др.] // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2022, № 25 (3). С. 239-247 DOI: https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-3-239-247.

2. Дудин М.Н., Анищенко А.Н.Обеспечение продовольственной безопасности регионов арктической зоны: новые вызовы и возможности в условиях вступления в индустрию 4.0 // Продовольственнаяполитикаибезопасность. 2021. № 8 (2). С. 167-178.doi: 10.18334/ppib.8.2.11192.

3. Alaska Obesity Facts Report 2014. Alaska: Governor Department of Health and Social Services, May 2014. 13-14. (In Russ.).

4. Продукты пчеловодства как биологически активные средства и альтернативные продукты питания / Л.Т. Ахметова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №15. С. 154-160.

5. Харчук, Ю.С. Мед и продукты пчеловодства. М.: Феникс. 2007. С.234.

6. Меренкова С.П., Полякова Е.Л. Экспериментальное обоснование применения ягодного сырья в технологии

обогащенных мучных кондитерских изделий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2018. № 6 (2). С. 20-29. DOI: 10.14529/food180203.

7. Бисчокова Ф.А., Штымова А.Х. Использование ягодных полуфабрикатов дикорастущих растений в производстве хлебобулочных изделий // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2021. № 1 (31). С. 44-49.

8. Лютикова М.Н., Ботиров Э.Х. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 5-27. DOI: 10.14258/jcprm201502429.

9. Присухина Н.В., ТипсинаН.Н., Туманова А.Е. Клюквенные полуфабрикаты из отходов сокового производства // Пищевая промышленность. 2014. № 4. С. 44-45.

10. ГОСТ 9404-88. Мука и отруби. Метод определения влажности: введ.1990-01-01. Москва, 2007, 5 с.

11. ГОСТ 27493-87. Мука и отруби. Метод определения кислотности по болтушке: введ.1989-01-01. Москва, 2007, 4 с.

12. ГОСТ 27558-87. Мука и отруби. Методы определения цвета, запаха, вкуса и хруста: введ. 1989-01-01. Москва, 2007, 4 с.

13. ГОСТ 27839-2013. Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины: введ. 1990-01-01. Москва, 2007, 9 с.

14. ГОСТ 5897-90. Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей: введ.1992-01-01. Москва, 2012. 8 с.

15. Кольман О.Я., Иванова Г.В., Никулина Е.О. Влияние ягодного порошка на хлебопекарные свойства пшеничной муки // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. № 2 (3). С. 166-167.

Информация об авторах

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

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

REFERENCES

1. Simakova, I. V. [et al.] (2022). Development of technological solutions for creating nutritional support for the body. Vestnik of MSTU. 2022.(25(3)).239–247. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-3-239-247.

2. Dudin M.N. & Anischenko A.N. (2021). ObespechenieprodovolstvennojbezopasnostiregionovArkticheskojzony: novye vyzovy i vozmozhnosti v usloviyahv stupleniya v Industriyu 4.0 [Ensuring food security in the Arctic regions: new challenges and opportunities amidst Industry 4.0]. Prodovolstvennaya politika i bezopasnost. 8(2). 167-178. (In Russ.) doi: 10.18334/ppib.8.2.11192.

3. Alaska Obesity Facts Report 2014. Alaska: Governor Department of Health and Social Services, May 2014. 13-14. (In Russ.).

4. Akhmetova L.T. [et al.] (2011). Bee products as biologically active agents and alternative food products Bulletin of the Kazan Technological University. (15).154-160.(In Russ.).

5. Kharchuk, Y.S. (2007). Honey and bee products. M.: Phoenix. 234.(In Russ.).

6. Merenkova S.P. & Polyakova E.L. (2018). Experimental Justification of the Use of Berry Raw Materials in Enriched Pastry Technology. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology, 6, (2), 20–29. (in Russ.) DOI: 10.14529/food180203.

7. Bischokova F.A. & Shtymova A.H. (2021). The use of berrysemi-finished products of wild-growingplantsin the production of bakery products. Proceedings of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. (1(31)).44-49. (In Russ.).

8. Lyutikova M.N., & Batirov E.H. (2015). Chemical composition and practical application of cranberry and cranberry berries. Chemistry of vegetable raw materials. (2). 5-27. (In Russ.). DOI:10.14258/jcprm201502429.

9. Prisukhina N.V., Tipsina N.N., Tumanova A.E. (2014). Cranberry semi-finished products from juice production waste. Foodindustry. (4). 44-45. (In Russ.)

10. Flour and bran. Method for determining humidity: introduction (2007). GOST 9404-88from 1Jan. 1990. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ).

11. Flour and bran. The method of determining acidity by a chatterbox (2007) GOST 27493-87from 1 Jan.1989. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ).

12. Flour and bran. Methods for determining color, smell, taste and crunch: introduction. (2007). GOST 27558-87from 1 Jan. 1989. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ).

13. Wheat flour. Methods for determining the quantity and quality of gluten (2007). GOST 27839-2013from 1 Jan.1990. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ).

14. Confectionery products. Methods for determining organoleptic indicators of quality, size, net weight and components. (2012). GOST 5897-90 from 1 Jan. 1992. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ).

15. Kolman O.Ya., Ivanova G.V. ,Nikulina E.O. (2012). The effect of berrypowderon the baking properties of wheatflour//Izvestiyavuzov.Appliedchemistryandbiotechnology. 2(3). 166-167. (In Russ.).

Information about the authors

S. I. Koneva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University, Senior Researcher, Center for Integrated Research "AltaiBioLact", Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia.

A. S. Zakharova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University, Senior Researcher, Center for Integrated Research "AltaiBioLact", Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia.

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

Статья поступила в редакцию 20 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 20 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 29–35.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 29–35.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.1
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.004 EDN: TUCENF

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАКТОКОККОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Юлия Михайловна Трубицына [1], Екатерина Федоровна Отт [2], Роман Викторович Дорофеев [3], Кристина Евгеньевна Шевченко [4], Татьяна Владимировна Грянкина [5]

[1, 2, 3, 4, 5] ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», Барнаул, Россия
[1] sibniis.microlab22@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-4723-7711
[2] sibniis.microlab22@mail.ru, https:// https://orcid.org/0009-0001-6146-164X
[3] romandorof@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1627-0454
[4] kristina.shevchenko.95@list.ru, https://orcid.org/0009-0002-5963-7447
[5] gryankina07@mail.ru, https://orcid.org/0009-0002-5245-4971

Аннотация: *Объектом исследования являются выделенные штаммы молочнокислых бактерий. Цель работы — пополнение коллекционного фонда «Сибирской коллекции микроорганизмов» перспективными реги-ональными штаммами лактококков для использования их в молочной промышленности. В работе ис-пользовали общепринятые методы микробиологического и биохимического анализа. Исследованы основные морфолого-культуральные, физиолого-биохимиченские и биотехнологические свойства выделенных из природных источников (молоко-сырьё коровье) штаммов молочнокислых бактерий. В 2023 году было выделено 120 штаммов молочнокислых бактерий, по результатам исследований отобрано 20 перспективных штаммов лактококков, на штаммы составлены паспорта. В паспорт штамма включено: наименование, номер штамма, способ получения, метод идентификации штамма, морфолого-культуральные, физиолого-биохимические и технологические свойства. Вновь выделен-ные молочнокислые бактерии (20 штаммов) отнесены по ключевым признакам «Определителя Бер-джи» к роду Lactococcus spp. Молочнокислые бактерии, которые используются при производстве бактериальных заквасок и бактериальных препаратов должны активно принимать участие в микро-биологических и биохимических процессах производства молочного продукта. Выделенные лакто-кокки (20 штаммов) отнесены к перспективным культурам и могут использоваться в дальнейших исследованиях при разработке различных композиций бактериальных заквасок для ферментирован-ных молочных продуктов.*

Ключевые слова: молочнокислые бактерии, лактококки, Lactococcus spp., коллекция микроорганизмов, селекция полезной микрофлоры, морфолого-культуральные свойства, физиолого-биохимические свойства, технологические свойства, перспективные штаммы, паспорта штаммов, ферментированные молочные продукты.

***Для цитирования*:** Биотехнологические свойства лактококков, выделенных из природных источников / Ю.М. Трубицына [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 29 – 35. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.004, EDN: https://elibrary.ru/tucenf.

Original article

BIOTECHNOLOGICAL PROPERTIES OF LACTOCOCCI ISOLATED FROM NATURAL SOURCES

Julia M. Trubitsyna [1], Ekaterina F. Ott [2], Roman V. Dorofeev [3], Kristina E. Shevchenko 4, Tatyana V. Gryankina [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Federal State Budgetary National Scientific Institution "Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies", Barnaul, Russia
[1]sibniis.microlab22@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-4723-7711
[2] sibniis.nicrolab22@mail.ru, https:// https://orcid.org/0009-0001-6146-164X
[3] romandorof@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1627-0454
[4] kristina.shevchenko.95@list.ru, https://orcid.org/0009-0002-5963-7447

© Трубицына Ю. М., Отт Е. Ф., Дорофеев Р. В., Шевченко К. Е., Грянкина Т. В., 2024

[5]gryankina07@mail.ru, https://orcid.org/0009-0002-5245-4971

Abstract. *The object of the study is isolated strains of lactic acid bacteria. The purpose of the work is to replenish the collection fund of the Siberian Collection of Microorganisms with promising regional strains of lactococci for use in the dairy industry. The work used generally accepted methods of microbiological and biochemical analysis. The main morphological, cultural, physiological, biochemical and biotechnological properties of lactic acid bacteria strains isolated from natural sources (cow's milk) have been studied. In 2023, 120 strains of lactic acid bacteria were isolated, 20 promising strains of lactococci were selected based on research results, and passports were drawn up for the strains. The strain passport includes: name, strain number, method of preparation, method of strain identification, morphological and cultural, physiological and biochemical and technological properties. The newly isolated lactic acid bacteria (20 strains) were assigned to the genus Lactococcus spp according to the key features of the "Bergey Determinant". Lactic acid bacteria, which are used in the production of bacterial starter cultures and bacterial preparations, should actively participate in the microbiological and biochemical processes of dairy product production. The isolated lactococci (20 strains) are classified as promising crops and can be used in further research in the development of various compositions of bacterial starter cultures for fermented dairy products.*

Keywords: *lactic acid bacteria, lactococcus, Lactococcus spp., collection of microorganisms, selection of beneficial microflora, morphological and cultural properties, physiological and biochemical properties, technological properties, promising strains, strain passports, fermented dairy products.*

For citation: Trubitsyna, J. M., Ott, E. F., Dorofeev, R. V., Shevchenko, K. E & Gryankina, T. V. (2024). Biotechnological properties of lactococci isolated from natural sources. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 29-35. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.004. EDN: https://elibrary.ru/tucenf.

ВВЕДЕНИЕ

Ферментированные молочные продукты (ФМП) занимают важное место в питании человека и являются источником поступления в организм человека необходимых макро- и микроэлементов, витаминов, ростовых факторов, а также полезной микрофлоры, в том числе пробиотической.

Заквасочная микрофлора (молочнокислые и пропионовокислые бактерии), принимает участие в микробиологических и физико-химических процессах при производстве ФМП: ферментирует лактозу с образованием молочной, уксусной, пропионовой и других органических кислот, ароматических соединений. Кроме того, полезная микрофлора придает вкусовые и ароматические показатели и, самое важное, безопасность ферментированному продукту [1, 2].

В лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов создана «Сибирская коллекция микроорганизмов» (СКМ), которая включает молочнокислые, бифидо-, пропионовокислые бактерии. Эта коллекция является крупным отраслевым фондом полезной микрофлоры и селекционным материалом отдела «Сибирский НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА. В настоящее время селекция полезной микрофлоры направлена на получение региональных штаммов лактококков, являющихся основной микрофлорой большинства бактериальных заквасок, используемых для производства ферментированных молочных продуктов. Научные исследования в направлении селекции полезной микрофлоры являются актуальной и важной задачей для молочной промышленности. В исследования 2023 года входило выделение и паспортизация технологически ценных региональных штаммов лактококков.

МЕТОДЫ

Объект исследования – выделенные штаммы лактококков.

Предмет исследования – морфолого-культуральные, физиолого-биохимические, технологически ценные свойства вновь выделенных региональных штаммов молочнокислых бактерий.

Источником выделения лактококков служило молоко-сырьё коровье (Алтайский край, Республика Алтай, РФ). Отбор проб молока проводили по ГОСТ 32901-2014.

Молочнокислые бактерии выделяли путем многократного пассажа в стерильное обезжиренное молоко, культивирование микроорганизмов проводили при температуре (30±1) °С. Согласно методики МР [3] устанавливали морфологию бактериальных клеток путем микроскопирования. Физиолого-биохимические и морфолого-культуральные свойства вновь выделенных штаммов исследовали по рекомендациям селекции молочнокислых бактерий и ключевым признакам, указанных в «Определителе Берджи» [3-7].

Отбор региональных перспективных штаммов молочнокислых бактерий проводили по основным биотехнологическим свойствам, необходимых для производства ферментированных молочных продуктов [6, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Необходимость проведения селекции молочнокислых бактерий связана с уязвимостью бактериальных культур, особенно лактококков, входящих в состав бакзаквасок и бакпрепаратов. Лактококки подвержены действию бактериофага, ингибирующих веществ, часто теряют активность (свертывание, аромато-, газообразование) в процессе хранения, перевивок, сушки. Селекция и отбор перспективных штаммов молочнокислых бактерий очевидно и эта важ-

ная работа должна проводиться постоянно.

В 2023 году было выделено 120 штаммов. При селекции лактококков большое внимание уделяется таким признакам, как активное свертывание молока и органолептические показатели сгустка. В результате проведенных исследований по свертыванию молока в течение 18 часов, органолептике и микроскопическому препарату из 120 выделенных культур отобрано 20 перспективных штаммов молочнокислых бактерий. Штаммы образовывали ровный плотный сгусток, по органолептике - чистый кисломолочный вкус. Результаты микроскопии выделенных штаммов показали, что бактериальные клетки располагались в виде кокков, диплококков и коротких цепочек кокков. Выделенные культуры предварительно отнесены к молочнокислым бактериям (рис. 1).

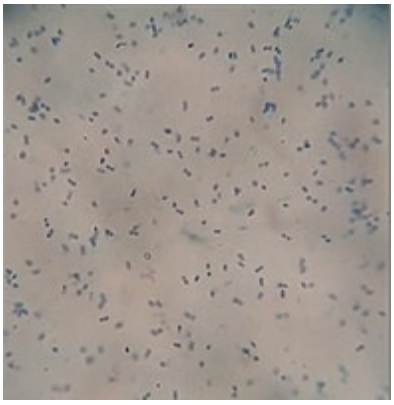


Рисунок 1 — Микроскопический препарат молочнокислых бактерий

Figure 1 — Microscopic preparation of lactic acid bacteria

Отобранные 20 штаммов проходили перевивку через 20-25 дней в течение трех пассажей на стерильное обезжиренное молоко, затем определяли способность образовывать сгусток, оценивали органолептические показатели и проводили микроскопирование. В результате проведённых исследований штаммы сохранили вышеуказанные свойства.

По ключевым признакам «Определителя Берджи» 20 штаммов исследовали на принадлежность к роду *Lactococcus spp.* [6].

Окраска по Граму показала, что все исследуемые штаммы грамположительные (Г+), что соответствует роду *Lactococcus spp.* [6].

Молочнокислые бактерии не образуют каталазу, но у них есть другие системы, в частности, дисмутаза, Mn-содержащие системы, которые защищают бактериальную клетку от токсичных радикалов кислорода [2]. Исследуемые молочнокислые бактерии (20 штаммов) не образовывали каталазу.

Тест на восстановление лакмусового молока показал, что 20 штаммов восстанавливали лакмусовое молоко при температуре (30±1) °С и не давали роста при температуре (45±1) °С в этой питательной среде. Этот тест показывает, что выделенные молочнокислые бактерии не являются энтерококками [6].

Молочнокислые бактерии подразделяются на гомо- и гетероферментативные. Основным продуктом брожения гомоферментативных штаммов молочнокислых бактерий является молочная кислота, а гетероферментативные образуют молочную кислоту, углекислоту и ароматобразующие вещества. Гетероферментативные культуры, такие как *Lactococcus lactis subsp. lactis biovar diacetilactis (Lac. diacetilactis)*, а также *Leuconostoc spp.*, образуют газ из цитрата натрия, гомоферментативные (*Lactococcus lactis subsp. lactis (Lac. lactis)*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris* (*Lac. cremoris*)) - не образуют. Характерной особенностью микроорганизмов *Leuconostoc spp.*, в отличие от *Lac. diacetilactis*, является способность сбраживать глюкозу с образованием CO_2 [6]. Выделенные штаммы протестировали на образование углекислого газа из цитрата натрия и способность образовывать газ из глюкозы. По результатам исследования было получено, что 20 исследуемых штаммов (100 %) не образовывали углекислый газ из цитрата натрия и из глюкозы (рис.2).

Согласно «Определителя Берджи», лактококки *Lac. lactis* и *Lac. cremoris* можно разграничить между собой по образованию аммиака из аргинина. *Lac. lactis* при ферментации аргинина образует аммиак, *Lac. cremoris* – не образует. Исследование ферментации аргинина 13 вновь выделенными штаммами (65 %) дали положительную реакцию, то есть образовывали аммиак, 7 штаммов (35 %) аммиак из аргинина не образовывали (рис. 2).

Исследуемые молочнокислые бактерии (20 штаммов) дали хороший рост в питательном бульоне с активной кислотностью 7,0 ед.pH. Затем в питательной среде (9,2 ед.pH) был отмечен рост у 18 штаммов (90 %), два штамма (10 %) не дали роста. (рис. 3).

Молочнокислые бактерии при сбраживании углеводов образуют продукты метаболизма, такие как молочная кислота, углекислота, ароматические вещества и др. Этот фактор имеет большое значение для получения качественного ФМП. В результате проведенных исследований по сбраживанию углеводов выделенными культурами получены результаты: 20 штаммов (100 %) активно сбраживали глюкозу, галактозу, лактозу, мальтозу и фруктозу. Сахарозу сбраживали 7 штаммов (35 %), 13 штаммов (65 %) – частично. Ксилозу сбраживали 12 штаммов (60 %), 8 штаммов (40 %) - не сбраживали. Раффинозу частично сбраживали 18 штаммов (90 %), два штамма (10 %) – не сбраживали. По результатам сбраживания инулина: 8 штаммов (40 %) частично сбраживали и 12 штаммов (60 %) не сбраживали (рис. 4).

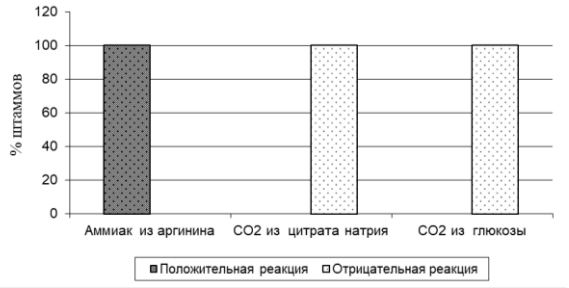


Рисунок 2 - Физиолого-биохимические свойства культур молочнокислых бактерий

Figure 2 - Physiological and biochemical properties of cultures of lactic acid bacteria

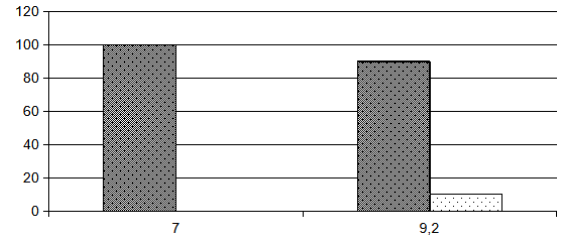


Рисунок 3 - Устойчивость выделенных культур к щелочной реакции среды

Figure 3 - Resistance of isolated cultures to the alkaline reaction of the medium

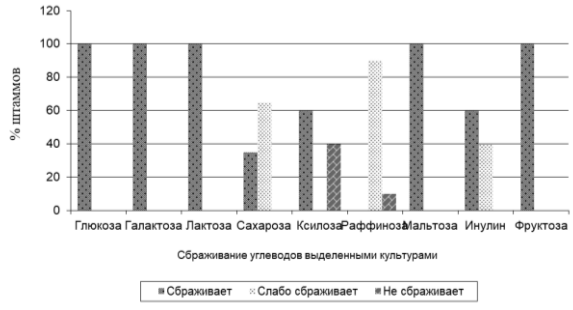


Рисунок 4 - Сбраживание углеводов выделенными культурами молочнокислых бактерий

Figure 4 - Fermentation of carbohydrates by isolated cultures of lactic acid bacteria

На основании проведенных исследований по селекции молочнокислых бактерий по морфолого-культуральным и физиолого-биохимическим свойствам и ключевым признакам «Определителя Берджи» 20 вновь выделенных культур были отнесены к роду *Lactococcus spp*.

В соответствии с современными требованиями вновь выделенные молочнокислые бактерии пройдут генетический анализ. в Национальном биоресурсном центре Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (ВКПМ) НИЦ Курчатовский институт – Гос НИИ Генетика (г. Москва) [6, 9].

Полезная микрофлора, используемая при производстве ФМП, должна обладать определенными биотехнологическими свойствами. Молочнокислые бактерии, которые используются в бактериальных закваскаx и препаратах, должны активно принимать участие в микробиологических и биохимических процессах производства молочного продукта. Молочнокислая микрофлора должна активно сбраживать лактозу, обладать кислотообразующей активностью, аромато- и газообразованием.

Лактококки (20 штаммов) протестировали по активности кислотообразования на молоке при температуре (30±1) ºС через 4 ч, 24 ч и 7 сут. Титруемая кислотность через 4 часа культивирования у тестируемых штаммов составляла от 30,00 до 56,87 ºТ, через 24 ч – от 72,00 до 97,00 ºТ, через 7 сут - 100,87 – 113,10 ºТ.

Результаты на аромато- и газообразующую активность 20 штаммов показали, что вновь выделенные лактококки относятся к гомоферментативным молочнокислым бактериям.

В производстве ФМП существенное влияние на микробиологические процессы оказывает температурный фактор, который регулирует активность молочнокислого брожения. Вновь выделенные лактококки тестировали на терморезистентность - продолжительность нагрева 30, 60 и 90 мин при температуре (65±1) ºС. После экспозиции лактококков в течение 30 минут рост дали 15 штаммов (75 %), 60 минут – 11 штаммов (55 %), 90 минут – 8 штаммов (40 %) (рис. 5).

При селекционном отборе штаммы молочнокислых бактерий тестируют на солеустойчивость к различным концентрациям NaCl (2 %, 4 % и 6,5 %). Пищевая соль в среде является важным технологическим фактором, она регулирует микробиологические, физико-химические процессы во время выработки и созревания сыра, а также активно принимает участие в формировании вкуса и консистенции, тем самым, влияет на качественные показатели продукта [2]. Исследуемые культуры (20 штаммов) показали хороший рост в питательной среде при концентрации NaCl 2 и 4 %. В питательной среде с концентрацией соли 6,5 % был отмечен слабый рост у семи штаммов (35 %), 13 исследуемых культур (65 %) не дали роста. Результаты устойчивости лактококков к различным концентрациям пищевой соли представлены на рисунке 6.

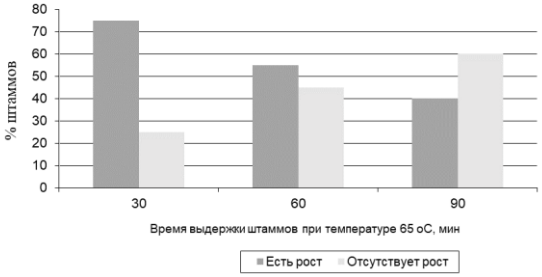


Рисунок 5 - Терморезистентность лактококков

Figure 5 - Thermoresistance of ilactococci

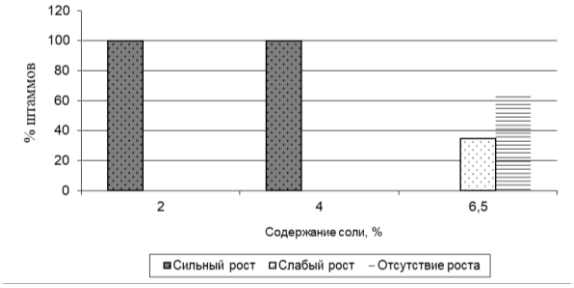


Рисунок 6 - Устойчивость выделенных лактококков к разным концентрациям NaCl

Figure 6 - Resistance of isolated lactococci to different concentrations of NaCl

Тест на устойчивость выделенных штаммов к антибиотикам имеет важное значение, так как они сдерживают молочнокислое брожение и негативно влияют на качество и безопасность молочных продуктов [10]. В Техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» установлены допустимые уровни содержания антибиотиков в молоке и молочных продуктах. При селекции молочнокислых бактерий, которые включают в состав бактериальных заквасок и препаратов, исследуют влияние антибиотиков на вновь выделенные штаммы. Тест на антибиотикоустойчивость исследуемых штаммов показал, что к пенициллину в концентрации 0,004 мг/л устойчивы 7 штаммов, 13 штаммов слабоустойчивы; к тетрациклину в концентрации 0,01 мг/л устойчивы 8 штаммов, 12 штаммов слабоустойчивы. К стрептомицину в концентрации 0,2 мг/л устойчивы 2 штамма, а 18 штаммов оказались слабоустойчивы.

Определение чувствительности к бактериофагу молочнокислых бактерий является важным критерием при составлении заквасочных композиций в процессе производства бакзаквасок и бакпрепаратов для ФМП. Бактериофаги, лизируя бактериальные клетки молочнокислых бактерий, входящих в состав заквасочных культур, наносят большой ущерб при производстве молочных продуктов.

Селекция лактококков по фагоустойчивости направлена на получение перспективных штаммов для включения их в состав бактериальных композиций с разным фаготипом [2].

Выделенные лактококки исследовали на фагоустойчивость к бактериофагам из «Сибирской коллекции микроорганизмов». Результаты исследования показали, что 16 штаммов (80 %) проявили высокую устойчивость к коллекционным бактериофагам, 4 штамма (20 %) при тестировании показали слабую фагоустойчивость. (рис. 7).

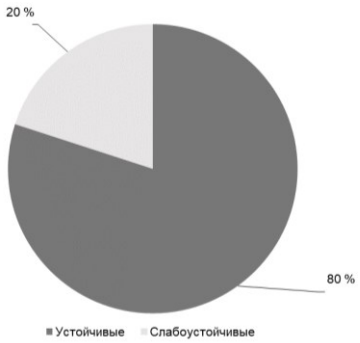


Рисунок 7 - Устойчивость лактококков к коллекционным фагам

Figure 7 - Lactococcal resistance to collectible phages

Молочнокислые бактерии играют ведущую роль в протеолитичесиком расщеплении белков в процессе производства ферментированных молочных продуктов. Необходимо проводить подбор штаммов молочнокислых бактерий с учетом протеолитической активности для введения их в состав заквасочных композиций [2].

Протеолитическую активность лактококков исследовали у пяти выделенных перспективных штаммов. Контролем служило стерильное обезжиренное молоко Результаты исследования протеолитической активности лактококков представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Протеолитическая активность выделенных лактококков

Table 1 – Proteolytic activity of isolated lactococci

Образец	Общие растворимые азотистые соединения, мг%	Белок, осаждаемый 12,5%-й ТХУ, мг% (высокомолекулярные)		Низкомолекулярные азотистые соединения, растворимые в 12,5%-й ТХУ, мг%	
		мг%	% от общих растворимых азотистых соединений	мг%	% от общих растворимых азотистых соединений
Контроль	539,57	359,71	66,67%	179,86	33,33%
1	1798,56	1618,71	90,00%	179,86	10,00%
2	485,61	377,70	77,78%	107,91	22,22%
3	575,54	179,86	31,25%	395,68	68,75%
4	989,21	773,38	78,18%	215,83	21,82%
5	917,27	827,34	90,20%	89,93	9,80%

По результатам исследования отмечено возрастание общих растворимых азотистых соединений в образцах № 1, 4, 5 (штаммы 22-26, 23-19, 23-2_1). Наиболее выраженная протеолитическая активность наблюдалась у штамма 22-26. Содержание общих растворимых азотистых соединений в образце № 1 больше, чем в контрольном образце в 3,33 раза. При этом преобладало наличие высокомолекулярных азотистых соединений, осаждаемых 12,5% трихлоруксусной кислотой (ТХУ). Похожая динамика протеолиза проходила у штаммов 23-19 и 23-$2_{1,}$. Образец № 3 (штамм 26-16) показал низкую протеолитическую активность, но продуцировал больше низкомолекулярных пептидов. Образец № 2 (штамм 22-28_7) не проявил протеиназную активность, содержание всех азотистых соединений осталось на уровне контрольного образца.

ВЫВОДЫ

Выделенные лактококки (20 штаммов) отнесены к перспективным культурам и могут использоваться в дальнейших исследованиях при разработке бактериальных композиций для заквасок и бакпрепаратов.

По результатам исследований составлены паспорта штаммов на 20 выделенных лактококков. В паспорт штамма включено: наименование, номер штамма, способ получения, метод идентификации штамма, морфолого-культуральные, физиолого-биохимические и технологические свойства.

Перспективные штаммы вновь выделенных лактококков пройдут генетический анализ в соответствии с современными требованиями по таксономической принадлежности бактериальных культур в Национальном Биоресурсном Центре Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов БРЦ ВКПМ) НИЦ Курчатовский институт - ГосНИИГенетика (г. Москва).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенихина, В.Ф. Разработка заквасок для кисломолочных продуктов / В.Ф. Семенихина, И.В. Рожкова, Т.А. Раскошная, А.А. Абрамова // Молочная промышленность. 2013. № 11. С. 30–31.

2. Гудков, А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты / А.В. Гудков. 2-е изд., испр. и доп. Москва: ДеЛи принт, 2003. 800 с. ISBN 5-94343-039-3/

3. МР 2.3.2.2327-08 Методические рекомендации по организации производственного микробиологического контроля на предприятиях молочной промышленности (с атласом значимых микроорганизмов). Углич: ГНУ ВНИИМС, 2008. 243 с.

4. МУ ВНИИМС 01.86.02.-89 Методические указания по селекции молочнокислых бактерий в состав заквасок и препаратов для мелких сычужных сыров. Углич : ВНИИМС, 1989. 87 с.

5. Банникова, Л.А. Селекция молочнокислых бактерий и их применение в молочной промышленности / Банникова Л.А. Москва : Пищевая промышленность, 1975. 255 с.

6. Bergey's manual of systematic bacteriology. Second edition. Volume three. The Firmicutes - Springer Science+Business Media, LLC, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA. 2009. 1422 p.

7. Кушманова, О.Д. Руководство к лабораторным занятиям по биологической химии / Кушманова, О.Д., Ивченко Г.М. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Медицина, 1983. 272 с.

8. Методические рекомендации по организации и проведению органолептической оценки молочных продуктов в рамках конкурсов - дегустаций». Москва : ВНИМИ, 2006. 53 с.

9. Шевелева, С.А. Усовершенствование лабораторного контроля технологических микроорганизмов / Шевелева С.А., Быкова И.Б., Черкашин А.В. // Переработка молока. № 3 (161). 2013. С.12-16.

10. Орлов, В.В. Анализ содержания антибиотиков в молоке как фактор обеспечения безопасности молочной продукции / В.В. Орлов, Е.В. Ожимкова // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 92-15. С. 116-118.

Информация об авторах

Ю. М. Трубицына – младший научный сотрудник лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела «Сибирский НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА,

Е. Ф. Отт – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела «Сибирский НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА.

Р. В. Дорофеев – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела «Сибирский НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА.

К. Е. Шевченко – младший научный сотрудник лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела «Сибирский НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА.

Т. В. Грянкина – инженер лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела «Сибирский НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА.

REFERENCES

1. Semenikhina, V.F., Rozhkova I.V., Sumptuous T.A. & Abramova A.A. (2013) Development of starter cultures for fermented milk products. Dairy industry. (11). 30-31. (In Russ.).

2. Gudkov, A.V. (2003) Cheese-making: technological, biological and physico-chemical aspects 2nd ed., corr. and suppl. Moscow: DeLi Print.. (In Russ.).

3. MR 2.3.2.2327-08. Methodological recommendations on the organization of industrial microbiological control at dairy enterprises (with an atlas of significant microorganisms). Uglich : GNU VNIIMS,

2008. 243 p. (In Russ.).

4. MU VNIIMS 01.86.02.-89 Methodological guidelines for the selection of lactic acid bacteria in the composition of starter cultures and preparations for small rennet cheeses. Uglich : ASRICh, 1989. 87 p. (In Russ.).

5. Bannikova, L.A. (1975) Selection of lactic acid bacteria and their application in the dairy industry. Moscow: Food industry. (In Russ.).

6. Bergey's manual of systematic bacteriology. The Firmicutes. Second edition. Volume 3. Springer Science+Business Media, LLC, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA. ISBN: 978-0-387-95041-9.

7. Kushmanova, O.D. .& Ivchenko, G.M. (1983). A guide to laboratory classes in biological chemistry. 3rd ed., reprint. and additional Moscow : Medicine, 272 p. (In Russ.).

8. Methodological recommendations on the organization and conduct of organoleptic evaluation of dairy products in the framework of tasting competitions". Moscow : VNIMI, 2006. 53 p. (In Russ.).

9. Sheveleva, S.A., Bykova, I.B. & Cherkashin, A.V (2013). Improvement of laboratory control of technological microorganisms. Milk processing. 3 (161). 12-16. (In Russ.).

10. Orlov, V.V. & Ozhimkova, E.V. (2022). Analysis of the content of antibiotics in milk as a factor in ensuring the safety of dairy products. Trends in the development of science and education. (92-15).116-118. (In Russ.).

Information about the authors

J. M. Trubitsyna – junior research assistant at the Laboratory of Microbiology of Milk and Dairy Products of the Department of the *Siberian Scientific Research Institute of Cheese-Making of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.*

E. F. Ott - candidate of biological sciences, a leading researcher at the laboratory of microbiology of Milk and Dairy Products of the Department of the *Siberian Scientific Research Institute of Cheese-Making of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.*

R. V. Dorofeev – candidate of agricultural sciences, Senior researcher at the Laboratory of Microbiology of Milk and Dairy Products of the Department of the *Siberian Scientific Research Institute of Cheese-Making of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.*

K. E. Shevchenko – junior research assistant *at the Laboratory of Microbiology of Milk and Dairy Products of the Department of the Siberian Scientific Research Institute of Cheese-Making of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.*

T. V. Gryankina – engineer at the Laboratory of Microbiology of Milk and Dairy Products of the Department of the *Siberian Scientific Research Institute of Cheese-Making of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.*

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 36–40.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 36–40.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.769
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.005 EDN: YAJTNE

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО СОЕВОГО СЫРЬЯ В ПИЩЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Екатерина Александровна Речкина [1], Жанна Александровна Кох [2], Вера Александровна Ханипова [3], Алина Валерьевна Воробьёва [4]

[1, 2, 3, 4] Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия
[1] rechkina.e@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-8045-9529
[2] jannetta-83@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4016-7596
[3] gasi.vera@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3088-2628
[4] alya.vorobyova.99@bk.ru, https://orcid.org/0009-0006-2972-889X

Аннотация. *В настоящее время во всём мире производится свыше 12000 продуктов переработки сои и комбинированных продуктов. Среди них можно отметить текстурированные соевые продукты, изготавливаемые из обезжиренной соевой муки, концентратов или изолятов. Одним из перспективных направлений развития пищевой промышленности в России является производство напитков на основе соевого "молока", предназначенных как для массового потребления, так и для специализированного питания. Соевые напитки становятся популярными среди людей, страдающими непереносимостью лактозы. Продуктом переработки при производстве соевого «молока», является окара. Соевая окара - это побочный продукт пищевой промышленности, который состоит из нерастворимых остатков сои при производстве пищевых продуктов на основе сои, например, соевого молока и тофу. Несмотря на то, что она богата белками, калием, кальцием, изофлавонами, полисахаридами, витамином В, жирорастворимыми питательными факторами и антиоксидантами, огромное ее количество преимущественно утилизируется ежедневно. Цель данной работы состояла в исследовании биохимического составом соевой окары, для возможности использования её в различных пищевых технологиях. В статье представлена технология производства соевой окары. Изучен биохимический состав соевой окары исследуемых из скороспелых сортов сои «Заряница» и «СИБНИИК», по содержанию общего количества углеводов, соевая окара сорта СИБНИИК на 1,2 % превосходит соевую окару сорта «Заряница», но незначительно уступает по содержанию клетчатки и золы (0,3 % и 0,8 %). Содержание зольных веществ в соевой окаре сорта СИБНИИК на 0,8 % больше, чем в соевой окаре сорта «Заряница». В соевой окаре определены показатели безопасности в соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза 015/2011 «О безопасности зерна» для масличных культур (подсолнечник, соя, хлопчатник, лен) допустимый уровень содержания свинца составляет не более 1,0 мг/кг, мышьяка 0,3 мг/кг, кадмия 0,1 мг/кг, ртути 0,05 мг/кг, что, является не только основным компонентом в кормовых смесях, но может применяется, как функциональный ингредиент в различных пищевых технологиях.*

Ключевые слова*: соя, вторичное соевое сырье, окара, биохимический состав соевой окары, показатели безопасности, технологический процесс.*

Для цитирования: Речкина Е. А., Кох Ж. А., Ханипова В. А., Воробьёва А. В. Перспективы использования вторичного соевого сырья в пищевом производстве // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 36 – 40. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.005, EDN: https://elibrary.ru/yajtne.

© Речкина Е. А., Кох Ж. А., Ханипова В. А., Воробьёва А. В., 2024

Original article

PROSPECTS FOR USE OF SECONDARY SOY RAW MATERIALS IN FOOD PRODUCTION

Ekaterina A. Rechkina [1], Zhanna A. Koch [2], Vera A. Khanipova [3], Alina V. Vorobyeva [4]

[1, 2, 3, 4] Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[1] rechkina.e@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-8045-9529
[2] jannetta-83@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4016-7596
[3] gasi.vera@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3088-2628
[4] alya.vorobyova.99@bk.ru, https://orcid.org/0009-0006-2972-889X

Abstract. *More than 12,000 soybean products and combination products are currently produced worldwide. Among them we can mention textured soy products made from defatted soybean meal, concentrates or isolates. One of the promising areas of food industry development in Russia is the production of beverages based on soy "milk", intended for both mass consumption and specialized nutrition. Soy drinks are becoming popular among people suffering from lactose intolerance. The processed product in the production of soy "milk", is okara. Soya okara is a by-product of the food industry that consists of insoluble soybean residue from the production of soy-based food products such as soy milk and tofu. Although it is rich in protein, potassium, calcium, isoflavones, polysaccharides, vitamin B, fat-soluble nutrients and antioxidants, a huge amount of it is predominantly utilized on a daily basis. The aim of this work was to investigate the biochemical composition of soybean okra, for the possibility of using it in various food technologies. The paper presents the technology of soybean okra production. The biochemical composition of soybean pellets of the investigated from soon-to-ripen soybean varieties "Zaryanitsa" and "SIBNIIC" has been studied; by the content of total carbohydrates, soybean pellets of SIBNIIC variety exceeds soybean pellets of "Zaryanitsa" variety by 1.2 %, but slightly inferior by the content of fiber and ash (0.3 % and 0.8 %). The ash content in soybean pellets of SIBNIIC variety is 0.8 % higher than in soybean pellets of "Zaryanitsa" variety. In soybean pellets determined safety indicators in accordance with the requirements of the Technical Regulations of the Customs Union 015/2011 "On the safety of grain" for oilseed crops (sunflower, soybean, cotton, flax) the permissible level of lead content is not more than 1.0 mg / kg, arsenic 0.3 mg / kg, cadmium 0.1 mg / kg, mercury 0.05 mg / kg, which is not only the main component in feed mixtures, but can be used as a functional ingredient in various food technologies.*

Keywords: *soybean, secondary soy raw material, pellets, biochemical composition of soybean pellets, safety indicators, technological process.*

For citation: Rechkina, E. A., Koch, Zh. A., Khanipova, V. A. & Vorobyeva, A. V. (2024). Prospects for use of secondary soy raw materials in food production. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 36-40. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.005. EDN: https://elibrary.ru/yajtne.

ВВЕДЕНИЕ

Как и другие бобовые, соевые бобы богаты питательными веществами. Пищевая промышленность использует продукты, в которых соя или продуктов, полученных из нее, в качестве одного из основных ингредиентов. Для использования в качестве сырья для пищевой промышленности соя должна обладать следующими характеристиками: светлый цвет пасленовых, высокое содержание белка, низкое содержание аллергенов. Благодаря высокому содержанию белка высшего качества.

Включение соевых белков в рацион питания с относительно низким содержанием насыщенных жирных кислот и холестерина снижает риск развития ишемической болезни сердца, соя также содержит полезные изофлавоны, которые вносят значительный вклад в профилактику сердечно-сосудистых заболеваний, и клетчатку, которая снижает уровень холестерина и улучшает толерантность к глюкозе при диабете [1, 2, 8, 10].

Окара - это побочный продукт переработки сои, особенно соевого молока и тофу. Окара имеет нейтральный вкус и имеет желтовато-белый цвет. При гидротермической обработке молотых соевых бобов образуется нерастворимая фракция. Высокое содержание воды (80 %) в окаре при выбрасывании наносит большой вред окружающей среде. Однако этот побочный продукт содержит множество полезных и биологически активных соединений, что вызывает растущий интерес к нему в качестве пищевых добавок. Добавление окары в продукты в качестве побочного продукта имеет не только положительные пищевые свойства, но и положительный экологический эффект. Помимо нежного вкуса, бесцветный вид и легко усваиваемые углеводы, окара также подходит для переработки безглютеновых продуктов. Характеристика этого побочного продукта, вклю-

чая белок, масло, пищевые волокна и минеральный состав, а также неуточненные моносахариды и олигосахариды [3, 4, 5, 6, 7].

Несмотря на то, что окара богата белками, калием, кальцием, изофлавонами, полисахаридами, витамином В, жирорастворимыми питательными факторами и антиоксидантами, огромное ее количество преимущественно утилизируется ежедневно. Утилизация окары требует больших финансовых затрат и представляет собой серьезную проблему для окружающей среды из-за гниения и выброса парниковых газов. Таким образом, превращение этих богатых питательными веществами «пищевых отходов» в субстрат богатый питательными веществами с целью обогащения продуктов питания является не только экономически устойчивым подходом к решению проблемы, но и выгодным предложением по утилизации отходов окары. В настоящее время использование побочных продуктов сои ограничивается извлечением волокон, в качестве биоудобрений, ферментированных кормов для животных. Помимо этого, его также добавляли в различные продукты питания для улучшения его питательного состава или текстурных свойств, таких как конфеты или соевые закуски, а некоторые использовали его в качестве субстрата для ферментации для получения важных компонентов, таких как липопептидный антибиотик итурин А и лимонная кислота. В связи с возросшим интересом к области пищевых нутрицевтиков или функциональных ингредиентов, необходимо сначала изучить химический состав окары и далее его возможное использование в этой области [9, 10].

Выбор соевого сырья, для использования в пищевых целях, обусловлен биологическими особенностями сорта соевого зерна и биохимическим составом.

Целью данного исследования является исследование биохимического состава соевой окары для возможности использования в различных пищевых технологиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – соевая окара, полученная в результате производства соевого молока из скороспелых сортов сои «Заряница» и СИБНИИК включенные в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в России, в Красноярском крае. Сорта сои выращены в 2023 году в хозяйстве ООО «ОПХ Солянское». Для исследования соевой окары применялись следующие методы: биохимический состав соевой окары на содержание сырого протеина, сырого жира, клетчатки, влаги, сырой золы определяли методом ИК-спектроскопии по ГОСТ 32040-2012, ГОСТ 32041-2012, ГОСТ 31675-2012. Тяжелые металлы определяли методом спектрометрии с индуктивносвязанной плазмой. При проведении исследований применялось следующее оборудование: спектрометр эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой Agilent модель 720 ICP-OES; газовый хроматограф фирмы Perkin Elmer. Все данные представлены как средние арифметические значения и их стандартные отклонения из трех независимых измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Окара была получена по технологической схеме, представленной на рисунке 1. Предложенная технологическая схема позволяет получать соевое молоко с максимальным выходом и окару с влажностью 72,3 – 80,7 %.

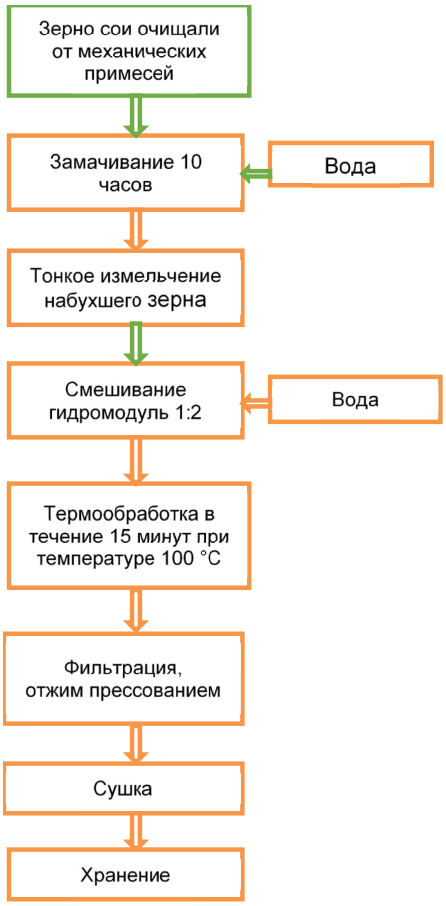


Рисунок 1 – Технологическая схема производства соевой окары

Figure 1 – Technological scheme of soybean okara production

Высокое содержание влаги в окаре является основным фактором, ограничивающим ее широкомасштабное использование, что крайне важно для поиска приемлемых решений по стабилизации для более простого и эффективного использования такого побочного продукта.

Соевая окара сортов «Заряница» и «СИБНИИК» отражены на рисунке 2.

Органолептические показатели соевой окары исследуемых сортов представлены в

таблице 1. По внешнему виду соевая окара выглядит как однородная масса светло-желтого цвета, с вкраплениями не экстрагированной части оболочечного вещества соевых бобов и имеет чистый нейтральный вкус. Продукты переработки сои можно использовать как белково-углеводную добавку при составлении рационов сбалансированного питания, что весьма актуально в настоящее время. Результаты биохимических исследований соевой окары, представлены в таблице 2.



а) сорт «Заряница»



б) сорт «СИБНИИК»

Рисунок 2 – Соевая окара / Figure 2 – Soy okara

Таблица 1 – Органолептические показатели соевой окары

Table 1 – Organoleptic parameters of soy okara

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	густая однородная масса с наличием отдельных частиц не экстрагированной части оболочечного вещества соевых бобов
Вкус	нейтральный
Запах	слабовыраженный бобовый
Цвет	светло-желтого, кремовый

Таблица 2 – Биохимический состав соевой окары (средние значения)

Table 2 – Biochemical composition of soy okara (average values)

Окара	Содержание, %				
	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы		Сырая зола
			общие	в т.ч. клетчатка	
Сорт сои «Заряница»	13,177	1,92	8,513	4,226	0,91
Сорт сои «СИБНИИК»	9,549	0,503	9,701	3,918	1,693

Анализ таблицы 2, позволяет сделать вывод о том, что основными компонентами соевой окары, являются белки и углеводы, содержание белка в соевой окаре сорта «Заряница» на 3,6 % больше, чем в соевой окаре сорта СИБНИИК. По содержанию общего количества углеводов, соевая окара сорта СИБНИИК на 1,2 % превосходит соевую окару сорта «Заряница», но незначительно уступает по содержанию клетчатки и золы (0,3 % и 0,8 %). Содержание зольных веществ в соевой окаре сорта СИБНИИК на 0,8 % больше, чем в соевой окаре сорта «Заряница».

Соевая окара, может служить полезной обогащающей белком и клетчаткой добавкой при производстве пищевых продуктов. Для использования соевой окары в пищевых целях, необходимо определить показатели безопасности, результаты исследований тяжелых металлов соевой окары, представлены в рисунке 2.

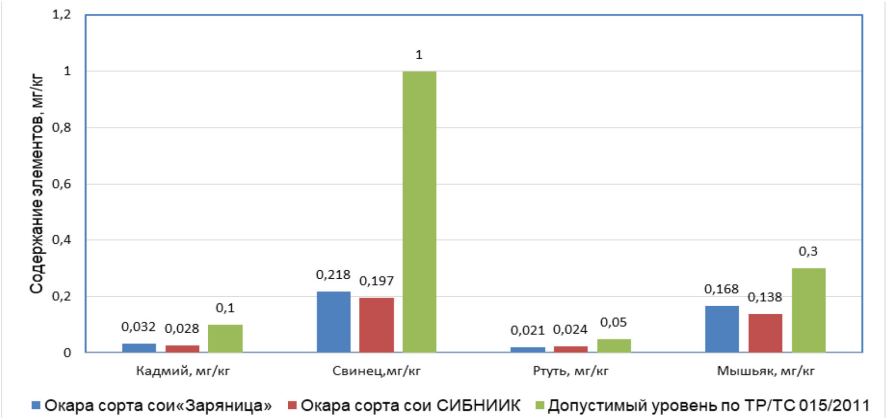


Рисунок 2 – Содержание тяжелых металлов в окаре разных сортов сои

Figure 2 – Heavy metal content in okara of different soybean varieties

В соответствии с требованиями безопасности Технического регламента Таможенного союза 015/2011 «О безопасности зерна» для масличных культур (подсолнечник, соя, хлопчатник, лен) допустимый уровень содержания свинца составляет не более 1,0 мг/кг, мышьяка 0,3 мг/кг, кадмия 0,1 мг/кг, ртути 0,05 мг/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При производстве соевого «молока» разработана технология производства окары высокого качества с максимальным выходом соевого молока. По своему биохимическому составу соевая окара, которая является белково-углеводной добавкой и может применяться как функциональный ингредиент в различных пищевых технологиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доморощенкова М.Л. Соевые и белковые продукты. Характеристики, питательные свойства и применение / Редактор Джозеф Дж. Эндерс; перевод с английского языка М.Л. Доморощенкова. М.: издво «Макцентр», 2002. 80 с.

2. Калинин А.Я. Продукты из сои: настоящее и будущее / А.Я. Калинин // Продовольственный бизнес. 2001. № 3. С. 2629.

3. Корнева Н.Ю. Оценка качественного состава зерна сои, пригодного для производства пищевых добавок / Н.Ю. Корнева, О.В. Литвиненко // Агронаука. 2023. Том 1. № 1. С.158 - 164.

4. Осипова Г. А. Безотходная переработка сои: использование соевой окары в макаронном производстве / Г. А. Осипова, Л. А. Самофалова, Н. А. Березина, Т. В. Серегина // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. №1 (29).

5. Скоробагатая Н.А. Успешное внедрение сои и зерновых в едином севообороте в Российской Федерации/ Н.А. Скоробагатая // Соя стратегическая сельскохозяйственная культура в системном развитии сельского хозяйства и продовольственного комплекса России: матлы Первой междунар. интернетконф. URL: http://www.infotechno.ru/rossoya/ dok_skorobogataya.php

6. Скрипко О. В. Исследование биохимического состава семян сои амурской селекции для использования в пищевой промышленности / О. В. Скрипко, О. В. Литвиненко, Н. Ю. Исайчева // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 8. С. 3235.

7. Соколова, А. А. Использование нетрадиционного растительного сырья в производстве сладких десертов / А. А. Соколова, П. В. Мухаметчина // Студенческая наука взгляд в будущее: Материалы XVIII Всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 1517 марта 2023 года. Том Часть 6. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. С. 113117.

8. Технология производства хлебобулочных изделий с использованием текстурированной сои / Н. Н. Типсина, Д. А. Кох, Е. Л. Демидов, М. С. Белошапкин // Вестник КрасГАУ. 2023. № 3(192). С. 161166. DOI 10.36718/1819403620233161166.

9. Цуранова С.В. Применение продуктов переработки сои при производстве вафель/ С.В. Цуранова, Н.А. Шуклина, Г.Л. Манукова, И.И. Уварова // Современные наукоемкие технологии. 2004. № 2. С. 169169.

10. Шлыкова А. Н. Инновационные технологии производства соевых напитков из биомодифицированного зерна / А. Н. Шлыкова, Е. А. Устимова, И. А. Панкина, Е. С. Белокурова // Пищевые технологии и биотехнологии: материалы XVI Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященной 150летию Периодической таблицы химических элементов: в 3 частях, Казань, 1619 апреля 2019 года. Том Часть2. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2019. С. 419424.

Информация об авторах

Е. А. Речкина – к.т.н., доцент кафедры технология консервирования и пищевая биотехнология ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Ж. А. Кох– к.т.н., доцент кафедры технологии, оборудования бродильных и пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

В. А. Ханипова– к.б.н., доцент кафедры эпизоотологии, микробиологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

А. В. Воробьева – магистр кафедры технология консервирования и пищевая биотехнология ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Information about the authors

E. A. Rechkina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Canning Technology and Food Biotechnology Krasnoyarsk State Agrarian University.

Zh. A. Koch – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology, equipment of fermentation and food production of Krasnoyarsk State Agrarian University.

V. A. Khanipova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Epizootology, Microbiology, Parasitology and Veterinary and Sanitary Examination, Krasnoyarsk State Agrarian University.

A. V. Vorobyeva – Master's student, Department of Canning Technology and Food Biotechnology, Krasnoyarsk State Agrarian University.

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 41–46.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 41–46.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.664
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.006
EDN: QGEAEG

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ВНЕСЕНИЯ ЛЬНЯНОЙ МУКИ В РЖАНОЕ ТЕСТО НА ИЗМЕНЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ХЛЕБА

Андрей Анатольевич Хлопов [1], Сергей Григорьевич Ефименко [2], Елена Сергеевна Лыбенко [3]

[1] Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта, Краснодар, Россия
[3] Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

[1] akhlopov@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0003-3774-4329
[2] biohim@vniimk.ru, https://orcid.org/0000-0002-8068-6668
[3] elenalybenko@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-8853-1903

Аннотация. *Льняная мука в связи с содержанием в ней ненасыщенных жирных кислот, белка, пищевых волокон, лигнанов и других веществ весьма полезна для питания человека. Особенно ценным в ней является содержание эссенциальной линоленовой (18:3) кислоты которая участвует в строении клеточных стенок человека. Проблематика внесения льняной муки в хлеб из пшеничной и смеси пшеничной и ржаной муки изучена достаточно широко. Было доказано, что количество льняной муки, которое можно добавлять в хлеб без ухудшения основных показателей качества составляет 10 %. В наших исследованиях изучены три способа внесения льняной муки в ржаное тесто: в сухом виде в дежу при земесе теста, в виде опары и в виде замоченной в воде муки. Технология приготовления ржаного хлеба традиционная, на живой закваске. Брожение (отдых) теста после замеса 5-10 мин. Методики определения качества готовых изделий общепринятые. В ходе проведения исследований было доказано, что добавление льняной муки в тесто в виде опары является оптимальным. Хлеб в этом варианте имел выпуклую куполообразную верхнюю корочку, развитую структуру пористости мякиша, прекрасный вид в изломе и соответствовал требованиям ГОСТ по физико-химическим показателям. Было отмечено, что льняной запах и вкус хлеба проявляются в наименьшей степени в тех вариантах, где льняная мука контактировала с водой до внесения в тесто. Содержание 18:3 жирной кислоты в льняной муке превышает 50 % в общем жире, тогда как у хлеба соотношение кислот 18:1, 18:2 и 18:3 примерно одинаковое.*

Ключевые слова*: ржаной хлеб, льняная мука, льняная опара, способы приготовления полуфабрикатов, качество хлеба, жирнокислотный состав, омега-3, полиненасыщенные жирные кислоты.*

Для цитирования: Хлопов А. А., Ефименко С. Г., Лыбенко Е. С. Изучение влияния способа внесения льняной муки в ржаное тесто на изменение жирнокислотного состава хлеба // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 41 – 46. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.006, EDN: https://elibrary.ru/qgeaeg.

Original article

TO INVESTIGATE EFFECT OF ADDING FLAXSEED FLOUR TO RYE DOUGH ON CHANGE IN FATTY ACID COMPOSITION OF BREAD

Andrey A. Khlopov [1], Sergey G. Efimenko [2], Elena S. Lybenko [3]

[1] Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
[2] V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russia

© Хлопов А. А., Ефименко С. Г., Лыбенко Е. С., 2024

[3] Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

[1] akhlopov@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0003-3774-4329
[2] biohim@vniimk.ru, https://orcid.org/0000-0002-8068-6668
[3] elenalybenko@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-8853-1903

Abstract. *Flaxseed flour, due to its content of unsaturated fatty acids, protein, dietary fiber, lignans and other substances, is very useful for human nutrition. Especially valuable in it is the content of essential linolenic acid (18:3), which is involved in the structure of human cell walls. The problems of introducing flaxseed flour into wheat bread and a mixture of wheat and rye flour have been studied quite widely. It has been proven that the amount of flaxseed flour that can be added to bread without deterioration of the main quality indicators is 10%. In our research, three methods of introducing flax flour into rye dough have been studied: in dry form in a bowl when kneading dough, in the form of sourdough and in the form of flour soaked in water. The technology of making rye bread is traditional, on a live starter. Fermentation (rest) of the dough after kneading 5-10 minutes. Methods for determining the quality of finished products are generally accepted. In the course of research, it has been proven that the addition of flaxseed flour to the dough in the form of sourdough is optimal. The bread in this variant had a convex domed upper crust, a developed crumb porosity structure, a beautiful view in the fracture and met the requirements of GOST for physicochemical parameters. It was noted that the flaxseed smell and taste of bread are manifested to the least extent in those variants where flaxseed flour was in contact with water before being added to the dough. The content of 18:3 fatty acid in flaxseed flour exceeds 50% in total fat, whereas bread has an acid ratio of 18:1, 18:2 and 18:3 approximately the same.*

Keywords*: rye bread, flaxseed flour, flaxseed sponge, methods of preparation of semi-finished products, bread quality, fatty acid composition, omega-3, polyunsaturated fatty acids.*

For citation: Khlopov, A. A., Efimenko, S. G. & Lybenko, E. S. (2024). To investigate the effect of adding flaxseed flour to rye dough on change in fatty acid composition of bread. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 41-46. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.006. EDN: https://elibrary.ru/qgeaeg.

ВВЕДЕНИЕ

Переоценить пользу влияния льняного семени на организм человека достаточно сложно. Лен является древнейшей культурой. Это одна из немногих культур, все части которой находят практическое применение. Из стеблей льна получают волокно, являющееся сырьем для получения колоссального количества продукции от тканей и хирургической ваты до пороха и наполнителя для пластмассы. Костра, оставшаяся после выделения волокна может использоваться как топливо для обогрева строительных объектов, теплоизоляционный материал, сырье для производства дорогой бумаги. Льняное семя находит такое же разнообразное применение от получения масла до разложения семян на пищевые и технологические ингредиенты: белок, пищевые волокна, гидроколлоиды, лигнаны.

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) не синтезируются в организме человека, но являются крайне важными для него. Более половины поступающих с пищей линолевой и линоленовой кислот расходуются организмом для восполнения энергетических затрат в течение суток [1].

Линолевая и линоленовая кислоты в организме человека могут являться биохимическими предшественниками физиологически значимых длинноцепочечных ПНЖК с 20-22 атомами углерода: арахидоновая (эйкозатетраеновая) кислота (20:4n-6), эйкозапентаеновая кислота (20:5n-3) и докозагексаеновая кислота (22:6n-3) [2]. Они входят в состав фосфолипидов клеточных мембран [3].

Потребление омега-3 ПНЖК в достаточном для организма количестве достоверно снижает риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний [4, 5]. Чем больше ПНЖК получает человек с питанием, тем лучше работают его транспортные и сигнальные системы. В питании важно не только количество потребляемых ПНЖК, но и соотношение омега-6 и омега-3 ПНЖК. Оно должно быть не выше 2:1–3:1 [6].

Продукты переработки льняного семени находят применение в различных направлениях пищевой промышленности. Самое широкое распространение получило льняное масло, но его распространение сдерживается в связи с опасностью окислительной порчи липидных компонентов [7]. Для снижения окислительного эффекта селекционеры направили свои усилия на создание сортов льна линольного типа [8].

В измельченном виде семена льна применяются в молочных продуктах, мясных полуфабрикатах, хлебобулочных и кондитерских изделиях. Льняную муку добавляют в экструзионные продукты, фруктовые и овощные блюда [9], хлебопекарные смеси и улучшители [10]. Создана технология совместного помола пшеничной и льняной муки [11].

В результате изучения влияния льняной муки на показатели качества пшеничного хлеба и хлеба из смеси пшеничной и ржаной муки было установлено, что рекомендуемое количество

льняной муки составляет 10-15 % [12, 13, 14]. В ржаное тесто следует добавлять не более 10 % льняной муки [15]. Введение льняной муки в рецептуру свыше 5 % приводит к проявлению у хлеба льняного вкуса [16].

Известно, что окисление растительных масел происходит на свету, при нагревании и в присутствии кислорода. Особенно это касается тех масел, которые содержат ПНЖК. При кратковременном температурном воздействии 45-70 °С в течение 90 мин и 100 °С до 6 ч. не происходит изменения жирнокислотного состава растительных масел и их купажей с льняным [17, 18]. Не изменяется жирнокислотный состав льняного масла при его нагреве до 178 °С в течение 90 мин. [19].

Указанные выше температуры нагрева растительных масел ниже нагрева теста тестовых заготовок при выпечке хлеба. Ржаной хлеб выпекается в более жестких условиях по сравнению с пшеничным хлебом и кондитерскими изделиями. В технологии ржаного хлеба используются хлебопекарные дрожжи и заквасочные микроорганизмы, которые могут повлиять на жирнокислотный состав в процессе приготовления готовых изделий. Поэтому, изучение жирнокислотного состава хлеба весьма интересно и актуально, поскольку современный покупатель активно интересуется вопросами здорового питания и новейших научных достижений в этой сфере.

Цель исследований: изучить влияние способа внесения льняной муки в тесто на жирнокислотный состав ржаного хлеба.

Задачи:

– Изучить показатели качества ржаного хлеба, выпеченного с добавлением льняной муки, подготовленной различными способами.

– Изучить жирнокислотный состав выпеченного хлеба.

– Определить, влияют ли хлебопекарные дрожжи на изменение жирнокислотного состава готовых изделий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объекты исследований: льняная мука «Компас здоровья», ржаной хлеб с добавлением льняной муки, полуфабрикаты теста.

Льняная мука торговой марки «Компас здоровья» имеет коричневый цвет, выраженный льняной запах и вкус. При разжевывании проявляется обволакивающая текстура.

Льняная мука была внесена в тесто в количестве 10 % взамен ржаной. Хлеб выпекался по традиционной технологии на живой закваске. Её готовили из ржаной муки и воды с добавлением стартовой заквасочной культуры и заквашивали до накопления кислотности 18 град. Готовую закваску и остальные ингредиенты помещали в дежу тестомеса и замешивали тесто в течение 17 мин. на медленной скорости работы тестомеса со спиральным месильным органом. Температура теста конечная составляла 27-28 °С. Отдых теста после замеса 5 – 10 мин., разделка на тестовые заготовки по 350 г, формование, окончательная расстойка и выпечка при 220 °С в течение 20 мин.

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА

К1 – ржаной хлеб

К2 – ржаной хлеб + льняная мука в сухом виде.

В1 – ржаной хлеб + льняная мука в виде опары.

В2 – ржаной хлеб + льняная мука в замоченном виде.

Опару из льняной муки готовили в соотношении муки и воды = 1:2. Количество прессованных дрожжей – 2 % по муке. Начальная температура брожения опары – 30 °С. Продолжительность брожения опары 3 ч. Для того, чтобы исключить влияние дрожжей на льняную муку при брожении опары отдельно делали замоченную льняную муку по технологии опары, только без использования дрожжей.

Органолептические показатели качества хлеба определяли по методике балльной оценки [20]. Из физико-химических показателей качества определяли влажность мякиша хлеба (ГОСТ 21094-75), титруемую кислотность мякиша (ГОСТ 5670-96), пористость мякиша готовых изделий (ГОСТ 5669-96).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА

Образцы хлебного мякиша измельчали для дальнейшего его низкотемпературного высушивания до 3-4 % для транспортировки и дальнейшего измельчения. На лабораторной мельнице измельчали по 10 г каждого образца и просеивали на сито 0,5 мм. Затем проводили трехкратную экстракцию гексаном при комнатной температуре. Полученные липиды подвергали метанолизу в присутствии метилата натрия, в соответствии с ГОСТ 31665-2012 для получения метиловых эфиров жирных кислот.

Определение состава жирных кислот липидов образцов хлеба осуществляли с применением газового хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2» с автоматическим дозатором жидких проб на капиллярной колонке SolGelWax 30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм в токе газа – гелия со скоростью 27 см/с, с программированием температуры в пределах 182–236 ºС.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе проведения исследований было установлено, что льняная опара и замоченная льняная мука незначительно отличаются по органолептическим показателям. Разница ощущается в том, что опара имеет более кислый вкус и запах брожения. Оба полуфабриката были с минимальным льняным запахом и вкусом. Конечная температура этих полуфабрикатов составила 29,5 °С. Опара из льняной муки набрала кислотность 3,4 град, а кислотность

замоченной муки – 1,9 град.

При определении показателей качества теста было установлено, что кислотность теста варианта В1 составила 9,5 град, а у В2 и контролей она составила 9,0 град. Наибольшая влажность теста зафиксирована у вариантов В1 и В2. Она находилась на уровне 56,6 и 56,7 % соответственно. Влажность теста контролей была в пределах 53,6 - 53,9 %.

Органолептические показатели качества готовых изделий отражены на рисунке 1, а срезы готовых изделий – на рисунке 2.

Данные профилограммы показывают, что К1 и К2 сильно отличаются по органолептическим показателям. Внесение льняной муки в тесто в сухом виде – не самый лучший способ приготовления теста. У К2 сильно ухудшается пористость и запах мякиша, вид хлеба в изломе. Среди вариантов лучшие баллы за органолептические показатели отмечены у В1. Он превосходит К2, а уступает К1 лишь по таким показателям как вид в изломе и вкус.

На фотографии срезов хлеба видно, что у В1 самая равномерная пористость среди представленных изделий. Этот вариант выше К1 и у него более ровная и куполообразная верхняя корочка, что редкость для ржаного хлеба.

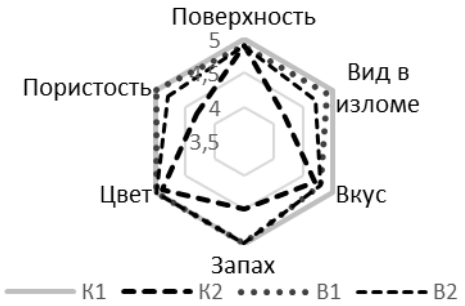


Рисунок 1 – Профилограмма органолептической оценки качества хлеба с добавлением льняной муки

Figure 1 – A profilogram of the organoleptic evaluation of the quality of bread with the addition of flaxseed flour



Рисунок 2 – Хлеб с добавлением льняной муки (слева направо: К1, К2, В1)

Figure 2 – Bread with the addition of flaxseed flour (from left to right: K1, K2, B1)

Физико-химические показатели качества готовых изделий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели качества хлеба с добавлением льняной муки

Table 1 – Physico-chemical indicators of the quality of bread with the addition of flaxseed flour

Варианты	Кислотность, град	Влажность, %	Пористость, %
Требования ГОСТ 2077 - 84	Не более 12,0	Не более 51,0	Не менее 48
К1	8,5	48,7	50
К2	8,5	49,0	45
В1	9,0	49,9	49
В2	8,6	49,8	49

Из данных, представленных в таблице 1 видно, что по кислотности и влажности мякиша хлеба все изделия соответствуют требованиям ГОСТ. Наибольшая кислотность отмечена у В1 (9,0 град). Влажность мякиша В1 и В2 самая высокая среди выпеченных изделий, она составляет 49,9 и 49,8 % соответственно. Пористость мякиша хлеба вариантов В1 и В2 – 49 %. Это выше, чем пористость у К2, но ниже, чем у К1.

Жирнокислотный состав ржаной и льняной муки, хлеба, выпеченного из этих продуктов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Жирнокислотный состав муки и ржаного хлеба с льняной мукой, % от общего количества жира (в абсолютно сухом веществе)

Table 2 – Fatty acid composition of flour and rye bread with flaxseed flour, % of the total amount of fat (in absolutely dry matter)

Жирные кислоты	Ржаная мука	Льняная мука	К1	К2	В1	В2
1	2	3	4	5	6	7
Миристиновая (С14:0)	0,08	0,05	0,09	0,07	0,06	0,06
Пальмитиновая (С16:0)	14,60	6,58	11,49	9,49	10,19	9,36
Стеариновая (С18:0)	0,67	3,24	1,18	2,13	2,19	2,11
Арахиновая (С20:0)	0,18	0,18	0,24	0,25	0,14	0,24
Бегеновая (С22:0)	0,20	0,21	0,15	0,37	0,28	0,32
Пальмитолеиновая (С16:1)	0,20	0,07	0,36	0,18	0,20	0,18

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7
Олеиновая (С18:1)	21,14	21,48	33,55	29,51	23,09	29,44
Линолевая (С 18:2)	53,41	14,24	42,56	30,61	31,51	30,54
Линоленовая (С18:3)	7,57	53,80	8,42	26,26	31,25	26,12
Эйкозеновая (С20:1)	1,92	0,15	1,66	1,12	1,10	1,10
Сумма насыщенных ЖК	15,73	10,26	13,15	12,31	12,86	12,09
Сумма ненасыщенныех ЖК	84,24	89,74	86,55	87,68	87,15	87,38
Соотношение насыщенные / ненасыщенные ЖК	1 : 5,4	1 : 8,7	1 : 6,6	1 : 7,1	1 : 6,8	1 : 7,2
Соотношение омега-3 / омега-6 ЖК	1 : 7,1	1 : 0,3	1 : 5,1	1 : 1,2	1 : 1,0	1 : 1,2

Данные, представленные в таблице показывают, что в жире ржаной муки преобладает линолевая кислота. Её доля в общем жире составляет 53,4 %. Полиненасыщенная линоленовая кислота присутствует в количестве 7,5 %. Соотношение омега-3 : омега-6 составляет 1 : 7,1. Это значительно превышает рекомендуемое ВОЗ со-отношение (1 : 2…1 : 3). В льняной муке «Компас здоровья» это соотношение также далеко от идеала, однако перевес отмечен в другую сторону: соотношение омега-3 : омега-6 = 1 : 0,3.В ржаном хлебе (К1) преобладает линолевая (42,5 %) и олеиновая (33,5 %) кислоты. Сумма ненасыщенных жирных кислот составляет 89,7 %, а соотношение омега-3 : омега-6 = 1 : 5,1. В хлебе варианта К2 преобладают линолевая (30,6 %), олеиновая (29,5 %) и линоленовая (26,2 %) кислоты.

В хлебе с добавлением льняной муки количество жирных кислот изменяется от 0,1 % у миристиновой кислоты до 6,4 % у олеиновой. При этом сумма насыщенных и ненасыщенных жирных кислот изменяется в пределах 0,5 %.

Интересно отметить, что количество олеиновой кислоты уменьшилось в варианте хлеба на опаре из льняной муки с 29,5 до 23 %, а количество линолевой и линоленовой кислот возросло на 0,9 и 5 % соответственно. Можно предположить, что причиной такого изменения соотношения жирных кислот хлебе являлись хлебопекарные дрожжи. В аэробных условиях дрожжи обычно накапливают биомассу. При отсутствии полноценного питания (например, заканчивается углеводное питание), когда у дрожжей нет возможности синтезировать биомассу они могут накапливать липиды.

Кислота 18:1 (олеиновая) – метаболизируемая дрожжами кислота. Уменьшение её количества и нарастание количества 18:2 (линолевая) и 18:3 (линоленовая) в эксперименте свидетельствует о том, что идёт синтез биомассы этих кислот. Изменение количества жирных кислот в хлебе с 18 атомами углерода в варианте с замоченной льняной мукой незначительны, и находятся в пределах 0,1 %.

Соотношение омега-3 : омега-6 у хлебов с добавлением льняной муки в количестве 10 % составляет 1 : 1…1 : 1,2.

ВЫВОДЫ

Показатели качества ржаного хлеба отличаются в зависимости от способа введения в тесто льняной полуобезжиренной муки. Наиболее оптимальным является внесение льняной муки в виде опары, приготовленной из муки льняной и воды в соотношении 1 : 2, количество дрожжей 2 % по муке, продолжительность брожения 3 часа. У хлеба этого варианта ровная куполообразная верхняя корочка, развитая структура пористости мякиша, хороший вид на изломе. Хлеб варианта В2 уступает хлебу В1 по органолептическим показателям, но у обоих вариантов льняной запах и вкус значительно менее выраженные по сравнению с хлебом, где льняная мука внесена в тесто в сухом виде.

В ржаном хлебе с добавлением льняной муки в 3-4 раза больше линоленовой (18 : 3) кислоты по сравнению с хлебом без внесения льняной муки. Соотношение омега-3 : омега-6 составляет 1 : 1…1 : 1,2, а у контроля это соотношение 1 : 7,1.

В варианте хлеба с льняной опарой было зафиксировано снижение количества олеиновой кислоты (18 : 1) на 6,4 %, и увеличение содержания линолевой (18 : 2) и линоленой (18 : 3) кислот на 0,9 и 5 % соответственно.

Влияние дрожжей на жирнокислотный состав хлеба незначительно и исчисляется изменением содержания жирных кислот с 18 атомами углерода в пределах 0, 1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Broadhurst C.L. Brain-specific lipids from marine, lacustrine, or terrestrial food resources: potential impact on early African Homo sapiens. / C.L. Broadhurst, Y. Wang, M.A. Crawford, S.C. Cunnane, J.E. Parkington, W.F. Schmidt // Comparative Biochemistry and Physiology B 131, 2002. P. 653-673.

2. Шарафетдинов Х. Х. и др. Особенности метаболизма полиненасыщенных жирных кислот при сахарном диабете 2 типа //Вопросы питания. 2023. Т. 92. №. 3 (547). С. 15-24.

3. Гладышев М. И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека //Журнал сибирского федерального университета. Биология. 2012. Т. 5. №. 4. С. 352-386.

4. Кушникова И. П., Нелидова Н. В. Влияние омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на сердечно-сосудистую систему //Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний. Т. 2022. Т. 10. №. 36.

5. Гурарий, Н. М. Питание и профилактика инсульта: обзор литературы / Н. М. Гурарий, Е. Р. Лебедева // Уральский медицинский журнал. 2011. № 2(80). С. 152-156.

6. Ильямакова Н. А., Горбунов В. В. Циркадные колебания вариабельности ритма сердца и жирнокислотный состав мембран эритроцитов у больных нейроциркуляторной дистонией // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2009. Т. 87. №. 4. С. 36-38.

7. Зубцов, В. А. Современные технологии переработки семян льна для создания продуктов питания массового потребления / В. А. Зубцов, И. Э. Миневич, Л. Л. Осипова // Глобализация и эколого-экономическое развитие регионов. Москва: Московский государственный университет леса, 2015. С. 194-200.

8. Скляров, С. В. Сравнительная характеристика линий масличного льна с различным жирнокислотным составом масла // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2016. С. 107-108.

9. Верболоз Е. И. Возможности производства нового экструдированного продукта / Е.И. Верболоз, А. Н. Пальчиков, О. И. Аксенова, О. В. Николаева // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. №2.

10. Гаевская, В. В. Разработка нового комплексного улучшителя для муки с низкими хлебопекарными свойствами / В. В. Гаевская, Г. П. Лапина // Качество и экологическая безопасность пищевых продуктов. Тверь, 25–29 марта 2015 года / Ответственные за выпуск: Г. П. Лапина, П.С. Лихуша. Тверь: Тверской государственный университет, 2015. С. 9-11.

11. Панкратов Г.Н. Пшенично-льняная мука: условия получения и возможность хранения / Г. Н. Панкратов, Е. П. Мелешкина, И. С. Витол, С.Н. Коломиец, И. А. Кечкин // Пищевая промышленность. 2021. №2.

12. Конева, С. И. Перспективная рецептура хлеба из смеси ржаной, пшеничной и льняной муки / С. И. Конева, А. Н. Волохова // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. Бийск: ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), 2016. С. 558-560.

13. Хлопов, А. А. Изучение качества хлебобулочных изделий с добавлением льняной муки / А. А. Хлопов, Е. С. Лыбенко // Науке нового века - знания молодых. Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2010. С. 190-195.

14. Фатыхов И. И., Корепанова Е. В. Продуктивность сортов льна-долгунца и производство пшеничного хлеба с добавлением льняной муки // Инновационному развитию АПК – научное обеспечение, Международная науч.-практическая конф. «Пермская ГСХА», 2010. Ч. 2. С. 237-240.

15. Федоров, А. В. Изучение влияния льняной необезжиренной муки из семян льна масличного на качество ржаного хлеба / А. В. Федоров, Е. С. Лыбенко, А. А. Хлопов // Индустрия питания. 2023. Т. 8, № 3. С. 27-35.

16. Xu, Yingying, Hall, Clifford, Manthey, Frank Effect of Flaxseed Flour on Rheological Properties of Wheat Flour Dough and on Bread Characteristics. Journal of Food Research. Vol. 3, No. 6; 2014

17. Бондаренко Ж. В., Эмелло Г. Г., Хаванская О. И. Влияние термообработки на устойчивость к окислению и жирнокислотный состав смеси растительных масел //Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2016. №. 4 (186). С. 162-166.

18. Никитенко А. Н. и др. Исследование влияния термообработки на окислительную устойчивость купажей растительных масел в различных средах //Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2019. №. 1 (217). С. 54-61.

19. Chen Z-Y, Rathayake W.M.N. Oxidative stability of flaxseed lipids during baking / J. Am.Oil. Chem.Soc. 1994. V.71.- PP.629-632.

20. Султаева, Н. Л. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий / Н. Л. Султаева, В. С. Перминова // Интернет-журнал Науковедение. 2015.Т. 7. № 1(26). С. 109-115.

Информация об авторах

А. А. Хлопов – кандидат сельскохозяйственных наук доцент кафедры общего земледелия и растениеводства ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ.

С. Г. Ефименко – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биохимии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта»

Е. С. Лыбенко – кандидат сельскохозяйственных наук доцент кафедры общего земледелия и растениеводства ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ.

Information about the authors

A. A. Khlopov – Candidate of Agricultural Sciences Department of General Agriculture and Plant Growing of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vyatka State Agrotechnological University”.

S. G. Efimenko – Candidate of Biological Sciences, Leading researcher, Head of the Laboratory of Biochemistry of the V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops.

E. S. Lybenko – Candidate of Agricultural Sciences Department of General Agriculture and Plant Growing of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vyatka State Agrotechnological University”.

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

Статья поступила в редакцию 22 ноября 2023; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 22 Nov 2023; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 47–54.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 47–54.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 641.524.6
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.007 EDN: UYKOAS

ПИЩЕВАЯ ПЛЕНКА С БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОЙ И ЭКСТРАКТОМ ПИЖМЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Дарья Романовна Червоткина [1], Абаева Анна Викторовна [2],

[1, 2] Самарский государственный технический университет, Самара, Россия
[1] dcher02@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3577-560X
[2] anna_borisova_63@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0833-987X

Аннотация. *В последнее время растет потребительский спрос на продукты питания с длительным сроком хранения. Лимитирующим срок годности фактором является процесс окисления в продуктах. Для решения этой проблемы в настоящее время разрабатывается и совершенствуется активная упаковка. Она основана на включении в упаковочный материал веществ, обладающих антиоксидантными, антимикробными или абсорбирующими свойствами. Одним из растений с богатым антиоксидантным составом является пижма обыкновенная (Tanacetum vulgare L.). Цель данного исследования – получение и изучение упаковочных материалов на основе бактериальной целлюлозы и экстракта пижмы обыкновенной. В экстракте пижмы было обнаружено большое количество фенольных соединений (1338,8 мг/100 г) и флавоноидов (716,4 мг/ 100 г), а также установлена высокая антирадикальная активность (Ec50 5,5 мг/мл). В ходе работы было получено 4 образца съедобных покрытий с различным содержанием бактериальной целлюлозы (5 %, 10 %, 15 %, 20 %). Все изделия достаточно прозрачные, слегка желтоватого оттенка, обусловленного наличием в их составе экстракта пижмы. В результате было доказано, что Экстракт пижмы обыкновенной целесообразно применять для создания упаковочного материала с антиоксидантными свойствами в комбинации с бактериальной целлюлозой в качестве иммобилизационной матрицы. Лучшим покрытием по физико-химическим показателям стала пленка с 20 %-ным содержанием бактериальной целлюлозы. Необходимы дальнейшие эксперименты по созданию пленок, чтобы уменьшить количество пузырьков, добиться более привлекательного внешнего вида покрытий и улучшить их физико-химические показатели.*

Ключевые слова: *альгинат натрия, съедобные покрытия, антиоксидантные свойства, фенольные вещества, флавоноиды, паропроницаемость, микроструктура, прозрачность.*

Благодарности: *авторы выражают признательность сотрудникам Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук Будаевой В. В., Скиба Е. А. за помощь в проведении исследований бактериальной целлюлозы.*

Для цитирования: Червоткина Д. Р., Абаева А. В. Пищевая пленка с бактериальной целлюлозой и экстрактом пижмы обыкновенной // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 47 – 54. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.007, EDN: https://elibrary.ru/uykoas.

Original article

FOOD FILM WITH BACTERIAL CELLULOSE AND TANSY EXTRACT

Darya R. Chervotkina [1], Anna V. Abaeva [2]

[1, 2, 3] Samara State Technical University, Samara, Russia
[1] dcher02@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3577-560X
[2] anna_borisova_63@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0833-987X

Abstract. *Recently, consumer demand for food products with a long shelf life has been growing. The limiting shelf life factor is the oxidation process in the products. To solve this problem, active packaging is currently being developed and improved. It is based on the inclusion of substances in the packaging material that have antioxidant, antimicrobial or absorbent properties. One of the plants with a rich antioxidant composition is common tansy (Tanacetum vulgare L.). The purpose of this study is to obtain and study packaging materials based on bacterial cellulose and tansy extract. A large number of phenolic compounds (1338.8 mg/100 g) and flavonoids (716.4 mg/*

© Червоткина Д. Р., Абаева А. В., 2024

100 g) were found in tansy extract, and high antiradical activity (Ec50 5.5 mg/ml) was also established. During the work, 4 samples of edible coatings with different bacterial cellulose content were obtained (5 %, 10 %, 15 %, 20 %). All products are quite transparent, slightly yellowish shade, due to the presence of tansy extract in their composition. As a result, it was proved that Tansy extract is advisable to use to create a packaging material with antioxidant properties in combination with bacterial cellulose as an immobilization matrix. The film with a 20% bacterial cellulose content became the best coating in terms of physico-chemical parameters. Further experiments are needed to create films in order to reduce the number of bubbles, achieve a more attractive appearance of coatings and improve their physico-chemical parameters.

Keywords: *sodium alginate, edible coatings, antioxidant properties, phenolic substances, flavonoids, vapor permeability, microstructure, transparency.*

Acknowledgements*: the authors express their gratitude to the staff of the Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Budaeva V. V., Skiba E. A. for their assistance in conducting research on bacterial cellulose.*

For citation: Chervotkina, D. R. & Abaeva, A. V. (2024). Food film with bacterial cellulose and tansy extract. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 47-54. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.007. EDN: https://elibrary.ru/uykoas.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время растет потребительский спрос на продукты питания с длительным сроком хранения. При этом важным фактором является наличие кислорода в свободном пространстве упакованных продуктов. Продукты с высоким содержанием липидов особенно подвержены окислению вследствие образования свободных радикалов, из которых при взаимодействии с кислородом получаются гидропероксиды, а впоследствии – альдегиды, спирты и кислоты. Все эти вещества приводят к изменению органолептических свойств продуктов питания, таких как цвет, вкус и запах. Кроме того, из-за окисления снижается биологическая ценность продуктов [1–3].

Для решения этой проблемы в настоящее время разрабатывается и совершенствуется активная упаковка. Она основана на включении в упаковочный материал веществ, обладающих антиоксидантными, антимикробными или абсорбирующими свойствами. Активные вещества такой упаковки взаимодействуют с атмосферой пищевого продукта, сохраняя его качество и безопасность, и тем самым продлевая срок годности [1]. Это связано с их способностью ингибировать окисление липидов, предотвращать потерю влаги и изменение цвета, подавлять развитие бактерий и плесневых грибов [4].

Многообещающим ингредиентом для биоразлагаемой упаковки становятся растительные экстракты. Растительное сырье содержит большое количество фенольных соединений, флавоноидов и каротиноидов, а также витамины и минералы. Следовательно, растительные экстракты в составе упаковки могут стать эффективными деактиваторами окислительных процессов.

Одним из растений с богатым антиоксидантным составом является пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare L.*). Ее цветки богаты эфирными маслами, органическими кислотами, дубильными веществами и флавоноидами – апигенином, акацетином, лютеолином [5]. Представители рода *Tanacetum* применяются в медицине в качестве болеутоляющего, противовирусного, антибактериального, противодиабетического и противогельминтного средства [6].

Кроме того, набирает популярность использование бактериальной целлюлозы (БЦ) в качестве ингредиента упаковки. Она представляет собой уникальный природный наноматериал, характеризующийся эластичностью, механической прочностью, хорошей влагоудерживающей способностью и биоразлагаемостью, а также биосовместимостью и способностью принимать заданную форму в процессе биосинтеза [7–9]. Несмотря на идентичную полимерную структуру растительной и бактериальной целлюлозы, в бактериальной целлюлозе отсутствуют примеси лигнина и гемицеллюлоз, что делает ее более химически чистой [8]. К тому же, бактериальная целлюлоза образует в воде трехмерную сетку, которая придает стабильность дисперсиям и эмульсиям нерастворимых веществ и не изменяется под воздействием нагревания [10]. Следовательно, бактериальная целлюлоза может служить эффективной матрицей для иммобилизации растительных экстрактов.

Цель данного исследования – получение и изучение упаковочных материалов на основе бактериальной целлюлозы и экстракта пижмы обыкновенной.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1) изучить антиоксидантный состав пижмы обыкновенной;

2) приготовить упаковочные покрытия с различным содержанием бактериальной целлюлозы;

3) изучить и сравнить физико-химические свойства полученных образцов покрытий.

МЕТОДЫ

Сбор пижмы обыкновенной производили в Муранском бору – реликтовом сосновом лесу, расположенном в Шигонском районе Самарской области. Надземные части растения собирали в августе в период активного цветения: отбирали

здоровые листья и соцветия без заметных повреждений. Для сохранения полезных веществ и естественной окраски пижмы ее сушку осуществляли в хорошо вентилируемом помещении, не допуская контакта с солнечными лучами.

Высушенные цветы пижмы измельчали с помощью лабораторной мельницы Вьюга при вращении ножа со скоростью 4000 об/мин до однородного порошкообразного состояния. В качестве экстрагента использовали 75 %-ный этиловый спирт, добавляя его в количестве 10 мл на 1 г растительного порошка. Полученное содержимое тщательно перемешивали, а затем в течение 35 с проводили активацию в поле токов сверхвысокой частоты (2450 МГц) для высвобождения экстрактивных веществ. Далее фильтровали экстракты с помощью ватных фильтров.

В экстракте определяли общее содержание фенольных соединений и флавоноидов, а также антирадикальную активность. Определение содержания фенольных соединений проводилось модифицированным методом Фолин-Чеколтеу с использованием одноименного реактива и насыщенного раствора карбоната натрия, где в качестве стандарта выступала галловая кислота. Содержание флавоноидов в пересчете на катехин измерялось с помощью фотоэлектроколориметрического метода, связанного с интенсивностью протекания реакции с растворами хлорида алюминия и нитрита натрия. Антирадикальная активность была установлена и определена методом DPPH и выражена в виде концентрации исходного растительного сырья, при которой происходит связывание 50 % радикалов. Чем меньше ее значение, тем выше антиоксидантная активность исследуемого экстракта.

Для приготовления опытных образцов подложку бактериальной целлюлозы предварительно вымачивали в 100 мл экстракта пижмы обыкновенной в течение 30 мин, после чего для лучшего встраивания экстракта в поры целлюлозы гомогенизировали их смесь блендером. В химическом стакане смешивали альгинат натрия, глицерин, измельченную бактериальную целлюлозу со встроенным в нее экстрактом в различных концентрациях (5 %, 10 %, 15 %, 20 %) и воду. Полученные пленкообразующие растворы измельчали диспергатором для получения однородной консистенции и нагревали в течение 10 мин на электрической плитке при температуре разливали в чашки Петри по 30±5 мл в каждую и сушили пленки на воздухе. Состав приготовленных покрытий представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав пленкообразующих растворов / Table 1 – Composition of film-forming solutions

Вид покрытия	Количество альгината натрия, г	Количество глицерина, мл	Количество смеси бактериальной целлюлозы и экстракта пижмы, г	Количество воды, мл
Контроль	2	2	–	96
Контроль с БЦ	2	2	22 г чистой БЦ	74
5 % БЦ	2	2	5	91
10 % БЦ	2	2	10	86
15 % БЦ	2	2	15	81
20 % БЦ	2	2	20	76

Также были приготовлены контрольные пленки двух видов: без БЦ и с ней. В первом случае в химическом стакане смешивали альгинат натрия, глицерин и воду, после чего нагревали на плитке при перемешивании и разливали растворы в чашки Петри аналогично опытным образцам. Во втором случае к смеси альгината натрия, глицерина и воды добавляли предварительно измельченную блендером бактериальную целлюлозу. Аналогично опытным образцам раствор измельчали диспергатором, нагревали при перемешивании и разливали по чашкам Петри.

Микроскопическую структуру образцов пленок изучали с помощью микроскопа Celestron Laboratory. Толщину измеряли посредством цифрового микрометра FIT-19909. Для каждой пленки проводили одно измерение в центре и на четырех различных участках периметра. Толщину вычисляли как среднее арифметическое.

Непрозрачность пленок определяли методом Парка и Чжао путем измерения оптической плотности при длине волны 600 нм [11]. Определение паропроницаемости пленок проводили согласно ГОСТ 21472-81 «Материалы листовые. Гравиметрический метод определения паропроницаемости». Для определения влажности исследуемые образцы пленок взвешивали и высушивали в сушильном шкафу при температуре растворимости образцы пленок взвешивали и помещали в стеклянные баночки со 100 мл дистиллированной воды. Банки закрывали крышками и оставляли при комнатной температуре на 24 часа, после чего высушивали пленки и измеряли их массу. Высвобождение антиоксидантов из пленок проводили с помощью реактива DPPH. Образцы помещали в стаканы с дистиллированной водой и отбирали пробы в начальный момент времени, а затем через 1, 3, 6, 10, 15, 30, 45, 60,

120 и 180 мин, измеряя коэффициент пропускания при длине волны 517 нм [12]. Все измерения проводились в двукратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экстракт пижмы обыкновенной обладал характерным запахом исследуемого растения и имел желто-зеленый оттенок. В экстракте было обнаружено большое количество фенольных соединений и флавоноидов, а также установлена высокая антирадикальная активность. Результаты антиоксидантного анализа экстракта представлены в таблице 2.

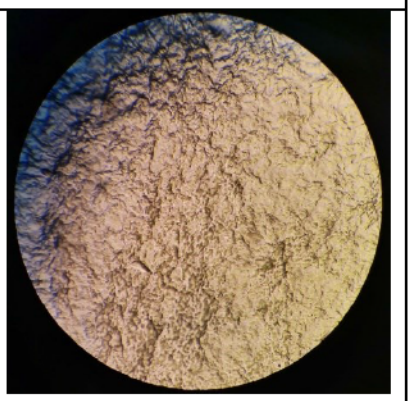
Таблица 2 – Антиоксидантный анализ экстракта пижмы обыкновенной
Table 2 – Antioxidant analysis of tansy extract

Измеряемый параметр	Результат
Содержание фенольных веществ, мг галловой кислоты / 100 г исходного сырья	1338,8
Содержание флавоноидов, мг катехина / 100 г исходного сырья	716,7
Антирадикальная активность, EC_{50}, мг/мл	5,5

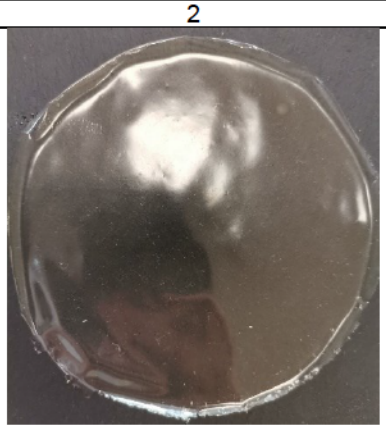
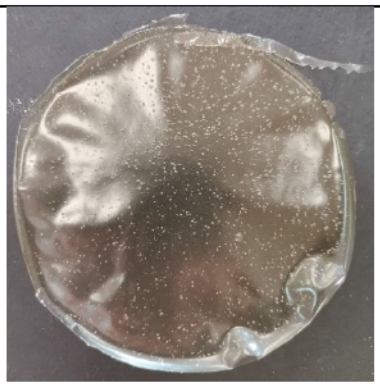
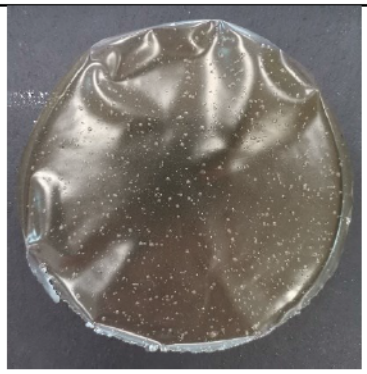
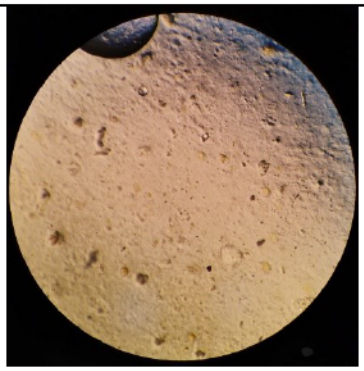
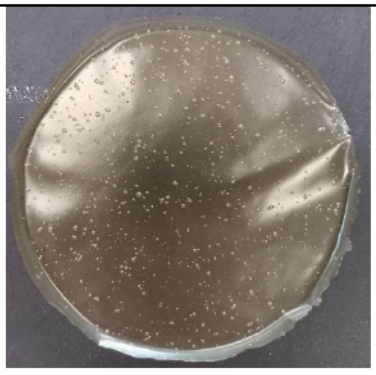
Полученные результаты подтверждают литературные данные об антиоксидантной активности экстрактов пижмы. Высокое содержание фенольных веществ и флавоноидов говорит об оптимальных условиях освещенности, места произрастания и кислотности почв, а также об отсутствии «стрессовых» факторов, так как все эти показатели имеют большое влияние на накопление растением веществ антиоксидантного типа.

В ходе работы было получено 4 образца съедобных покрытий с различным содержанием бактериальной целлюлозы. Все изделия достаточно прозрачные, слегка желтоватого оттенка, обусловленного наличием в их составе экстракта пижмы. Большое количество пузырьков на поверхности пленки вызвано тем, что благодаря интенсивной гомогенизации в смесь попадает множество пузырьков воздуха, но вследствие застывания смеси они не успевают выйти из пленки и остаются в ней, образуя структуру, близкую к твердой пене. Такая проблема свойственна многим полимерам, и авторы активно работают над ее решением. Внешний вид и микроскопическая структура пленок (увеличение 1000х) представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Внешний вид и микроскопическая структура полученных покрытий
Table 3 – Appearance and microscopic structure of the resulting coatings

Вид покрытия	Полученные образцы покрытий	
	Внешний вид	Микроструктура
1	2	3
Контроль		
Контроль с БЦ		

Продолжение таблицы 3 / Continuation of table 3

1	2	3
5 % БЦ		
10 % БЦ		
15 % БЦ		
20 % БЦ		

Свойства полимерных микроструктур играют важную роль для производства упаковочных материалов. Полученные пленки имеют шероховатую поверхность, что предположительно было вызвано агрегацией соединений экстракта

пижмы, иммобилизованного в порах целлюлозы, и грубую текстуру, что указывает на пластичность пленки. Пленка с 10 %-ной концентрацией БЦ помимо большого числа пузырьков содержит длинные трещины, которые видны в микроскопе во всех полях зрения, что делает ее не пригодной для дальнейшего использования в качестве упаковки. С увеличением концентрации целлюлозы в пленках растет также содержание кристалликов экстракта, собирающихся в небольшие агломераты. Скорее всего, именно они в дальнейшем отвечают за высвобождение антиоксидантов из покрытий. Контрольная пленка с БЦ имеет хорошо просматривающиеся поры и каналы.

В таблице 4 представлены физико-химические свойства исследуемых покрытий.

Таблица 4 – Физико-химические свойства образцов покрытий
Table 4 – Physicochemical properties of coating samples

Вид покрытия	Толщина, мкм	Влагосодержание, %	Непрозрачность пленок, A_{600}/мм	Паропроницаемость, $\cdot 10^{-10}$ г·м$^{-1}$·с$^{-1}$·Па$^{-1}$
Контроль	65±2,3	40,02±1,33	1,015±0,055	1,628±0,09
Контроль с БЦ	112±3,1	42,55±1,42	3,460±0,190	2,563±0,11
5 % БЦ	103±3,7	15,74±0,61	1,065±0,075	3,120±0,13
10 % БЦ	133±4,3	15,59±0,57	1,905±0,110	4,196±0,26
15 % БЦ	117±3,9	17,29±0,75	2,060±0,130	3,517±0,21
20 % БЦ	122±4,1	20,16±0,89	1,815±0,095	3,356±0,19

Толщина – важный параметр, напрямую влияющий на механическую прочность, паропроницаемость, светопроницаемость и непрозрачность [13]. Полученные пленки практически не отличаются по толщине, однако можно сделать вывод, что по мере увеличения концентрации бактериальной целлюлозы и включенного в нее экстракта толщина покрытий увеличивается. Причиной увеличения толщины пленки с 10 %-ным содержанием БЦ могло стать нарушение организованной структуры матрицы пленки, так как этот образец имел множество трещин и наибольшее количество пузырьков. Исходя из результатов контрольных пленок, видно, что бактериальная целлюлоза увеличивает толщину пленок практически в 2 раза.

Влагосодержание отражает способность упаковочных материалов поглощать влагу из окружающей среды [13]. Контрольные пленки имеют более высокое влагосодержание по сравнению с опытными. Это связано с тем, что в них содержится большее количество несвязанной воды. В опытных образцах влагосодержание растет с увеличением концентрации бактериальной целлюлозы. Пленка с 20 %-ной концентрацией БЦ имеет высокую гигроскопичность (20,16 %), что связано с образовавшимися межмолекулярными водородными связями между водой и целлюлозой.

Прозрачность упаковки влияет на восприятие продуктов потребителем, поскольку дает ему более реалистичное представление о покупаемом продукте. С другой стороны, для продления сроков хранения и замедления процессов окисления необходима непрозрачная упаковка. В связи с большим количеством пузырьков на поверхности все пленки за исключением покрытия с 5 %-ным содержанием БЦ продемонстрировали достаточно схожие значения непрозрачности. Однако стоит отметить, что с увеличением концентрации растительного экстракта пленка становится менее прозрачной.

Одной из основных функций упаковочных материалов в пищевой промышленности является ограничение переноса влаги между пищевыми продуктами и окружающей средой. Следовательно, низкая паропроницаемость позволяет продлить сроки годности продуктов питания [14]. Можно утверждать, что добавление бактериальной целлюлозы и экстракта пижмы значительно увеличивает паропроницаемость. Исследователями было доказано, что часть растительных экстрактов способна снижать значения паропроницаемости, а часть – повышать. Так, добавление кожуры красного винограда к хитозановым пленкам повышает паропроницаемость, а экстракт корок арбуза снижает ее [14]. Наиболее низкие значения паропроницаемости наблюдались в пленках с 5 и 20 %-ным содержанием БЦ. В первом случае это связано с равномерной однородной структурой матрицы пленки. Во втором случае пленка содержала наибольшее количество фенольных веществ. Согласно литературным данным, более низкая паропроницаемость пленок, содержащих фенольные соединения, напрямую связана с более высоким уровнем гидроксильных групп и образованием разного рода сшивок.

Значения растворимости исследуемых образцов получить не удалось, так как все они полностью растворялись в воде в течение одного часа. Это свидетельствует о полном биоразложении материала и возможности применения такой структуры для создания съедобного покрытия, но при этом ограничивает его использование для продуктов с большой влажностью.

Результаты высвобождения из пленок антиоксидантов представлены на рисунке 1.

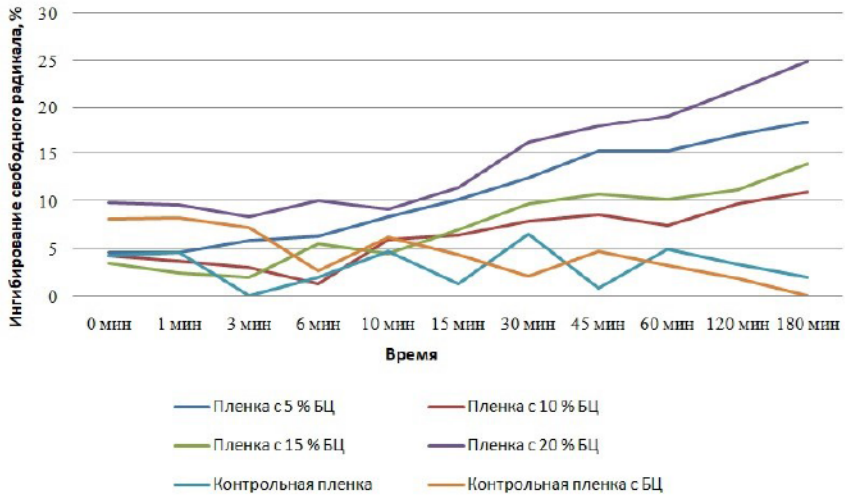


Рисунок 1 – Зависимость ингибирования свободного радикала от времени
Figure 1 – Time dependence of free radical inhibition

Таким образом, опытные образцы заметно отличаются от контрольных в лучшую сторону. Худшие результаты продемонстрировала пленка с 10 %-ным содержанием БЦ вследствие многочисленных нарушений структуры. Стоит отметить неплохие показатели у пленки с 5 %-ным содержанием БЦ за счет гомогенной матрицы пленки и равномерного распределения экстракта. Однако лучшие показатели продемонстрировало покрытие с 20 %-ным содержанием целлюлозы. Из графика видно, что уже через полчаса происходит заметный скачок в замедлении окислительных процессов, а через 3 часа ингибируется четверть свободных радикалов, что является отличным показателем. В том числе, это говорит о высокой антиоксидантной активности экстракта пижмы обыкновенной.

ВЫВОДЫ

В результате исследования были сформулированы следующие выводы.

1. Экстракт пижмы обыкновенной целесообразно применять для создания упаковочного материала с антиоксидантными свойствами. Возможно, что его комбинация с другими растительными экстрактами позволит снизить значения паропроницаемости и в то же время приумножить антирадикальную активность.

2. Бактериальная целлюлоза является перспективным материалом для иммобилизации различных веществ, в том числе растительных экстрактов.

3. Лучшим покрытием по физико-химическим показателям стала пленка с 20 %-ным содержанием бактериальной целлюлозы.

4. Необходимы дальнейшие эксперименты по созданию пленок, чтобы уменьшить количество пузырьков, добиться более привлекательного внешнего вида покрытий и улучшить их физико-химические показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. New active packaging based on encapsulated carvacrol, with emphasis on its odour masking strategies / M. Wrona et al. // Food Packaging and Shelf Life. 2023. V. 40. P. 101177. doi: 10.1016/j.fpsl.2023.101177

2. Antimicrobial activity of biocomposite films containing cellulose nanofibrils and ethyl lauroyl arginate / F. Silva et al. // Journal of Materials Science. 2019. V. 54. P. 12159–12170. doi: 10.1007/s10853-019-03759-3

3. Dirpan A., Fadiah Ainani A. & Djalal M. A bibliometrics visualization analysis of active packaging system for food packaging // Heliyon. 2023. V 9. P. e18457. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18457

4. Active Packaging Applications for Food / S. Yildirim et al. // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2017. V. 17. P. 165–199. doi: 10.1111/1541-4337.12322.

5. Куркина А.В. Исследование флавоноидного состава цветков пижмы обыкновенной (Tanacetum vulgare L.) // Химия растительного сырья. 2011. № 4. С. 209–212.

6. Tanacetum vulgare L. (Tansy) as an effective bioresource with promising pharmacological effects from natural arsenal / G. Ak et al. // Food and Chemical Toxicology. 2021. V. 153. P. 112268. doi: 10.1016/j.fct.2021.112268.

7. Химические аспекты бактериальной наноцеллюлозы / Г.В. Сакович [и др.]. // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2018. Т. 11. № 4. С. 531–542 doi: 10.17516/1998-2836-0097.

8. Гладышева Е.К., Скиба Е.А. Биосинтез бактериальной целлюлозы культурой Medusomyces gisevii // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 3 (65). С. 149–156.

9. Ситникова А.Е., Шавыркина Н.А., Будаева В.В. Получение пленок бактериальной целлюлозы с заданными свойствами для применения в медицине // От биопродуктов к биоэкономике: материалы IV межрегиональной конференции (с международным участием). Барнаул : АлтГТУ, 2021. С. 24–26.

10. Червоткина Д.Р., Борисова А.В. Перспективы применения бактериальной целлюлозы в составе биоразлагаемой упаковки // Экология и природопользование: устойчивое развитие сельских территорий: материалы III Всероссийской конференции. Краснодар : КубГАУ, 2023. – С. 588–590.

11. Park S. & Zhao Y. Incorporation of a high concentration of mineral or vitamin into chitosan-based films // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004. V. 52. P. 1933–1939. doi: 10.1021/jf034612p

12. Peng Y., Wu Y. & Li Y. Development of tea extracts and chitosan composite films for active packaging materials // International Journal of Biological Macromolecules. 2013. V. 59. P. 282–289. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2013.04.019

13. Antioxidant and pH-sensitive films developed by incorporating purple and black rice extracts into chitosan matrix / H. Yong et al. // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. V. 137. P. 307–316. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.07.009

14. Kola V. & Carvalho I.S. Plant extracts as additives in biodegradable films and coatings in active food packaging // Food Bioscience. 2023. V. 54. P. 102860. doi: 10.1016/j.fbio.2023.102860.

Информация об авторах

Д. Р. Червоткина – студент 4 курса Высшей биотехнологической школы Самарского государственного технического университета.

А. В. Абаева *– кандидат технических наук, оцент Высшей биотехнологической школы Самарского государственного технического университета.*

REFERENCES

1. Wrona, M. et al. (2023). New active packaging based on encapsulated carvacrol, with emphasis on its odour masking strategies. *Food Packaging and Shelf Life*, (40), 101177. doi: 10.1016/j.fpsl.2023.101177

2. Silva, F. et al. (2019). Antimicrobial activity of biocomposite films containing cellulose nanofibrils and ethyl luroyl arginate. *Journal of Materials Science*, (54), 12159–12170. doi: 10.1007/s10853-019-03759-3

3. Dirpan, A., Fadiah Ainani, A. & Djalal, M. (2023). A bibliometrics visualization analysis of active packaging ystem for food packaging. *Heliyon*, (9), e18457. doi: 0.1016/j.heliyon.2023.e18457

4. Yildirim, S. et al. (2017). Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, (17), 165–199. doi: 10.1111/1541-337.12322

5. Kurkina, A.V. (2011). Study of the flavonoid composition of tansy flowers (Tanacetum vulgare L.). *Khimiya astitel'nogo syr'ya*, (4), 209–212. (In Russ.).

6. Ak, G. et al. (2021). *Tanacetum vulgare* L. (Tansy) as an effective bioresource with promising pharmacological effects from natural arsenal. *Food and Chemical Toxicology*, (153), 112268. doi: 10.1016/j.fct.2021.112268

7. Sakovich, G.V. et al. (2018). Chemical aspects of bacterial nanocellulose. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Khimiya*, (4), 531–542. (In Russ.). doi: 10.17516/1998-2836-0097

8. Gladysheva, E.K. & Skiba, E.A. (2015). Biosynthesis of bacterial cellulose by the culture of Medusomyces gisevii. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, (3), 149–156. (In Russ.).

9. Sitnikova, A.E., Shavyrkina, N.A. & Budaeva V.V. Obtaining films of bacterial cellulose with specified properties for use in medicine. *Proceedings of the 4-th Interregional Conference (with International participation) «From bioproducts to bioeconomics»*. A.N. Luk'yanov (Ed.). Barnaul: ASTU. (In Russ.).

10. Chervotkina, D.R. & Borisova A.V. Prospects for the use of bacterial cellulose as part of biodegradable packaging. *Proceedings of the III All-Russian Conference «Ecology and environmental management: sustainable development of rural areas»*. N.V. Chernysheva (Ed.). Krasnodar: KubGAU. (In Russ.).

11. Park, S. & Zhao, Y. (2004). Incorporation of a high concentration of mineral or vitamin into chitosan-based films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (52), 1933–1939. doi: 10.1021/jf034612p

12. Peng, Y., Wu, Y. & Li, Y. (2013). Development of tea extracts and chitosan composite films for active packaging materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, (59), 282–289. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2013.04.019

13. Yong, H. et al. (2019). Antioxidant and pH-sensitive films developed by incorporating purple and black rice extracts into chitosan matrix. *International Journal of Biological Macromolecules*, (137), 307–316. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.07.009

14. Kola, V. & Carvalho, I.S. (2023). Plant extracts as additives in biodegradable films and coatings in active food packaging. *Food Bioscience*, (54), 102860. doi: 10.1016/j.fbio.2023.102860.

Information about the authors

D. R. Chervotkina, student of the High Biotechnological School of the Samara State Technical University

A. V. Abaeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the High Biotechnological School of the Samara State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 07 декабря 2023; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 07 Dec 2023; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 55–61.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 55–61.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.655.19
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.008 EDN: QXYLOC

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭКСТРУДИРОВАННЫХ КУКУРУЗНЫХ КРАХМАЛОВ

Геннадий Валентинович Алексеев [1], Алексей Петрович Савельев [2], Артем Андреевич Бирченко [3], Елена Николаевна Ивлева [4]

[1, 2, 3, 4] Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

[1] gva2003@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2867-108X
[2] savelevalexey30111983@gmail.com
[3] syzrantsev.dmitriy83@mail.ru
[4] helen-ivleva@yandex.ru

Аннотация*. Основной представитель углеводов, составляющих более 70 % рациона питания человека – крахмал. Это вещество считается наиболее важным из резервов углеводных соединений растительного сырья. Его называют самым широко известным питательным растительным веществом. Продукты, получаемые из него или на его основе, играют основную роль в производстве потребительских товаров. Это продукты широко распространены не только в пищевой промышленности при приготовлении кондитерских, хлебобулочных или пищеконцентратных изделий, но с успехом применяются и в таких сферах как производство полиграфической, кожевенной или фармацевтической продукции. Незаменим он и на производствах консервных, молочных- и мясообрабатывающих предприятий. Только номенклатура изделий крахмалопаточного производства насчитывает сотни наименований и непрерывно расширяется. В качестве основного сырья при получении крахмала и крахмалпродуктов используют большое количество культур, заметное место среди которых занимает кукуруза. Помимо нативного крахмала выпускается большой ассортимент декстринов и модифицированных крахмалов. Зерна крахмала состоят, как известно, из двух фракций: амилозы и амилопектина. Содержание амилозы в промышленных сортах кукурузы колеблется в пределах около 20 %, амилопектина – 80 %. Некоторые сорта кукурузы содержат до 70 % амилозы. Одним из наиболее прогрессивных способов получения модифицированных крахмалов, допускаемых в применении на производствах продуктов питания практически без ограничений, является способ экструзии. В большинстве видах экструзии стремятся создать такие условия работы оборудования, которые способствовали бы возможно полной деструкции крахмальных зерен. При возможности сортового разделения для прочих равных условий более полно деструктируют зерна крупных размеров, а мелкие зерна в тех же условиях разрушаются не так интенсивно. Процессы разрушения крахмальных зерен находятся в большой зависимости от типа и содержания в общей массе модифицирующих добавок. Наличие, например, в экструдируемой смеси различных жировых компонент или белковых соединений уменьшают воздействие одних крахмальных зерен на другие и препятствуют непосредственному трению их о лопасти шнека. Это часто приводит к снижению степени вспучивания получаемого продукта. Таким образом, подбор состава смеси в каждом случае индивидуален и требует выбора рациональных режимов осуществления процесса экструзии. В настоящей работе предлагается модель экструдирования с интенсификацией осевого перемещения сырья для получения модифицированного кукурузного крахмала. Предложенная конструкция экструдера позволяет получить продукт с большим диапазоном задаваемых потребительских свойств.*

Ключевые слова*: уточнение модели, экструзионная обработка, кукурузный модифицированный крахмал, осевое перемещение сырья, перфорирование витков шнека.*

Для цитирования: Алексеев Г.В., СавельевА. П., БирченкоА. А., Ивлева Е. Н. Возможности повышения качества экструдированных кукурузных крахмалов // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 55 – 61. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.008, EDN: https://elibrary.ru/QXYLOC.

© Алексеев Г.В., Савельев А. П., Бирченко А. А., Ивлева Е. Н., 2024

Original article

POSSIBILITIES OF IMPROVING QUALITY OF EXTRUDED CORN STARCHES

Gennady V. Alekseev[1], Alexey P. Saveliev[2], Artyom A. Birchenko[3], Elena N. Ivleva [4]

[1, 2, 3, 4] ITMO National Research University, St. Petersburg, Russia
[1] gva2003@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2867-108X
[2] savelevalexey30111983@gmail.com
[3] syzrantsev.dmitriy83@mail.ru
[4] helen-ivleva@yandex.ru

Abstract. *Starch is the main representative of carbohydrates that make up more than 70% of the human diet. This substance is considered the most important of the reserves of carbohydrate compounds of vegetable raw materials. It is called the most widely known plant nutrient. Products derived from it or based on it play a major role in the production of consumer goods. These products are widely used not only in the food industry in the preparation of confectionery, bakery or food concentrate products, but are also successfully used in such areas as the production of printing, leather or pharmaceutical products. It is also indispensable in the production of canning, dairy and meat processing enterprises. Only the product range of starch and treacle production has hundreds of names and is continuously expanding. A large number of crops are used as the main raw material for the production of starch and starch products, among which corn occupies a prominent place. In addition to native starch, a wide range of dextrins and modified starches are available. Starch grains are known to consist of two fractions: amylose and amylopectin. The content of amylose in industrial varieties of corn ranges from about 20%, amylopectin – 80%. Some varieties of corn contain up to 70% amylose. One of the most advanced methods for producing modified starches, which can be used in food production with almost no restrictions, is the extrusion method. In most types of extrusion, they strive to create such working conditions of the equipment that would contribute to the possible complete destruction of starch grains. If varietal separation is possible, for other equal conditions, large grains are more completely destroyed, and small grains are not destroyed so intensively under the same conditions. The processes of destruction of starch grains are highly dependent on the type and content of modifying additives in the total mass. The presence, for example, of various fatty components or protein compounds in the extruded mixture reduces the effect of some starch grains on others and prevents them from directly rubbing against the screw blades. This often leads to a decrease in the degree of swelling of the resulting product. Thus, the selection of the composition of the mixture is individual in each case and requires the choice of rational modes of the extrusion process. In this paper, we propose an extrusion model with an intensification of the axial movement of raw materials to produce modified corn starch. The proposed design of the extruder allows you to obtain a product with a wide range of specified consumer properties.*

Keywords*: model refinement, extrusion processing, corn modified starch, axial movement of raw materials, perforation of screw turns*.

For citation: Alekseev, G. V., Saveliev, A. P., Birchenko, A. A. & Ivleva, E. N. (2024). Possibilities of improving quality of extruded corn starches. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 55-61. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.008. EDN: https://elibrary.ru/QXYLOC.

ВВЕДЕНИЕ

Высокотемпературная экструзия, реализуемая с технологическими параметрами процесса: влажность массы – 14–20 %, давление – 12–20 Мпа, ведет к вспучиванию получаемого продукта сразу же после выхода его из отверстий фильеры за счет практически мгновенного снижения основных действующих параметров, таких как давление и температура, при одновременном резком превращение воды в водяной пар. В случае использования такого типа процесса показатель, который определяет основные закономерности экструзии и качество получаемого продукта тесно связан с вязкостью экструдируемой смеси. Интенсивность и глубина разрушения крахмальных зерен в этом случае определяет эффективность реализуемого технологического процесса и совершенство используемого технологического оборудования. При высокотемпературной экструзии процесс происходит достаточно быстро при этом получаемый продукт оказывается достаточно хорошо высушенным.

В производстве широкого ассортимента пищевых продуктов новые возможности представляет технология варочной экструзии из-за высокой экономичности и универсальности процесса. Экструзия сопровождается воздействием на материал высокого давления, температуры, срезывающих усилий. При этом можно использовать разнообразное крахмалсодержащее сырье. При изготовлении пищевых продуктов варочной экструзией, кроме традиционного крахмалсодержащего сырья (картофель и кукуруза), все большее применение получает переработка высокобелкового сырья (мясного и рыбного). Этот способ экструзии часто используют для получения мясо- и рыборастительных продуктов. При прессовании происходит объемная деформация, которая характеризуется сдвигом

и сжатием исходного продукта. Первоначально под воздействием приложенного давления на продукт резко изменяется его плотность и образуется сплошная однородная структура с максимальным уплотнением. Затем при резком увеличении давления наблюдается уже незначительное повышение плотности.

Материал, перемещающийся под давлением в канале экструдера, деформируется, приобретает новую форму при продавливании через матрицу. При этом в результате действия напряжения сдвига происходит резкий перепад давления. Это давление действует в двух противоположных направлениях: в сторону матрицы и реактивно в сторону приемной зоны. Происходит выпрессовывание материала из экструдера через отверстие матрицы. В результате резкого перепада давления и температуры мгновенно испаряется влага из обрабатываемого материала. Материал при этом приобретает высокопористую структуру и свойства. Оптимальное рабочее давление при прессовании устанавливается опытным путем с учетом свойств материала, количества и качества получаемой или имеющейся фазы.

В экструзионных процессах важную роль играют явления тепло- и массопереноса. С повышением температуры в экструдуре увеличивается теплоемкость пищевых продуктов. Повышение температуры влияет на перенос влаги внутри материала. При добавлении влаги к исходному продукту, имеющему небольшую влажность, линейно возрастает эффективный коэффициент теплопроводности $\lambda_{эфф.}$ Влияние влажности на $\lambda_{эфф.}$ обусловлено степенью дисперсности исходного материала (крупно-, средне- и мелкодисперсные). Так, при добавлении влаги к относительно сухому продукту, $\lambda_{эфф.}$ возрастает с увеличением размера частиц продукта. При большой влажности продукта рост $\lambda_{эфф.}$ постепенно приостанавливается (для крупнозернистого), или остается линейным (для среднедисперсного), или темп его резко возрастает (для мелкодосперсного) продукта.

На величину $\lambda_{эфф.}$ влияют формы связи влаги с материалом. Если продукт имеет небольшую влажность, то вначале процесса влага заполняет мелкие поры между зернами. Имеет место молярный перенос пара (при горячей экструзии) внутрь пор (мономолекулярная адсорбция). При их насыщении влага заполняет все межзерновые поры, полностью насыщая их (капилярная конденсация). С влагосодержанием материала тесно связаны как коэффициент теплопроводности, так и температуропроводности.

Повышение температуры изменяет форму связи влаги с материалом. Влагоинерционные свойства материала, оказывающие наибольшее влияние на интенсивность переноса и равномерность распределения влаги внутри материала в процессе его термической обработки, характеризуются коэффициентом диффузии влаги. При экструдировании следует обеспечить оптимизацию режима с учетом всех факторов.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись процесс и технологическое оборудование экструдирования кукурузного сырья для получения из него модифицированного пищевого крахмала.

Поскольку технологические параметры самого процесса экструдирования определяются качеством перерабатываемого сырья и, в первую очередь, его структурно-механическими характеристиками, изучали микроструктуру крахмальных зерен, подлежащих разделению на амилозу и амилопектин для обеспечения придания ему новых потребительских свойств (модифицирования).

Для анализа морфологии крахмальных гранул, как основы структуры, изучали их размеры, форму и особенности строения поверхности. Эти исследования проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа. После изготовлении препаратов образцов крахмала в виде порошка наносили их на металлическую подложку, прикрепляли к ее поверхности посредством токопроводящего клея и размещали на приборном столе микроскопа LEO 1420, фирмы Carl Zeiss, Германия (рис. 1) [1–3].

Результаты электронного сканирование подготовленных образцов приведены на рисунке 2.



Рисунок 1 – Сканирующий электронный микроскоп LEO 1420

Figure 1 – LEO 1420 scanning electron microscope

Анализ гранулометрического состава зерен различных видов сырья позволяет судить о том, что они существенно разнятся по размерам и форме.

Нетрудно предположить, что такие различия в процессе экструдирования будут создавать различные условия для высвобождения амилозы и амилопектина из различных зерен. Велика вероятность того, что наиболее крупные зерна, перемещаясь вдоль поверхностей лопастей экструдера в радиальном направлении, будут подвергаться разрушению с выделением амилопектина и амилозы для последующего модифицирования, тогда как мелкие зерна крахмала так и останутся неразрушенными.

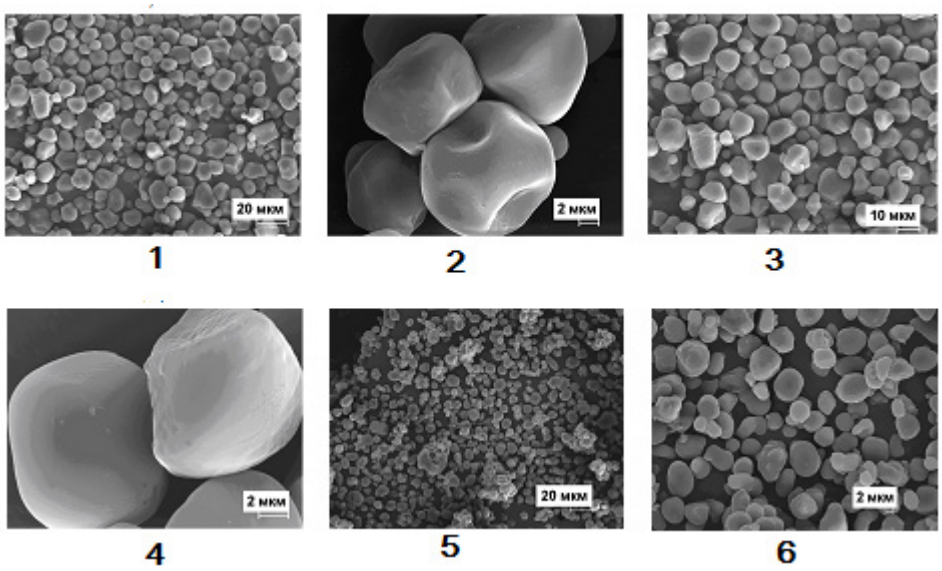


Рисунок 2- Микрофотографии зерен кукурузного крахмала: 1-4 – кукурузного крахмала; 5-6 – высокоамилозного кукурузного крахмала

Figure 2- Micrographs of corn starch grains: 1-4 – corn starch; 5-6 – high-amylose corn starch

Ситуация может быть изменена за счет обеспечения перемещения более мелких зерен в осевом направлении путем их «продавливания», например, через перфорацию лопастей. При этом легко контролировать размер зерен, нуждающихся в таких дополнительных мерах разрушения путем изменения диаметров отверстий.

Известно [4], что осевое перемещение v_zэкструдируемого продукта определяется уравнением (1):

$$v_z = \frac{n}{n+1}\left(\frac{1}{2\eta_0}\frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{1}{n}} r^{\frac{n+1}{n}} + C_2 \qquad (1)$$

где n – индекс течения, определяющий неньютоновское поведение экструдируемой массы;

P – давление;

η_0 – вязкость;

r – текущий радиус.

Предположим, что в конструкцию шнека внесены некоторые изменения с целью возможного регулирования скорости движения продукта, например, выполнено k отверстий диаметром d_o, параметры которых не сказываются на принятых допущениях движения расплава.

В этом случае выражение (1) принимает вид:

$$v_z = \frac{n}{n+1}\left(\frac{1}{2\eta_0}\frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{1}{n}} r^{\frac{n+1}{n}} + \left(\frac{\mathrm{k}d_o r^2}{2}\right) + C_2$$

Для определения константы C_2 составляли уравнение $v_z(R) = 0$.

После подставления в уравнение (1) вычисленного значения C_2, оно принимало следующий вид:

$$v_z = -\frac{n}{n+1}\left(\frac{1}{2\eta_0}\frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{1}{n}} R^{\frac{n+1}{n}}\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right] - \left(\frac{\mathrm{k}d_o R^2}{2}\right)\left[1-\left(\frac{r^2}{R^2}\right)\right] \qquad (2)$$

Скорость перемещения среды вдоль оси трубы v_0, после подстановки r=0 в уравнение (2), определялась выражением:

$$v_0 = -\frac{n}{n+1}\left(\frac{1}{\eta_0}\frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{1}{n}} R^{\frac{n+1}{n}} - \left(\frac{\mathrm{k}d_o R^2}{2}\right)$$

В этом случае уравнение распределения скоростей представляло вид:

$$v = v_0\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right]$$

При получении распределения температуры, пользовались зависимостями, приведенными в [3]. Однократно интегрируя, окончательно получали:

$$\frac{\partial T}{\partial r} = -\frac{\eta_0}{k}\frac{n}{3n+1}A\left(\frac{1}{2\eta_0}\frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{n+1}{n}} r^{\frac{2n+1}{n}} + \frac{C_3}{r}. \qquad (3)$$

Поскольку градиент температуры на оси трубы равен нулю в уравнении (3) постоянная C_3 тоже равна нулю. Интегрируя записанное соотношение (3), имеем:

$$T = -\frac{\eta_0}{k}\left(\frac{n}{3n+1}\right)^2 A\left(\frac{1}{2\eta_0}\frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{n+1}{n}} r^{\frac{3n+1}{n}} + C_4. \qquad (4)$$

Для определения C_4 решали начальное уравнение $T(R)=T_w$, где T_w – температура внутренней стенки. Из выражения (4) при этом условии находим:

$$T - T_w = \frac{\eta_0}{k}\left(\frac{n}{3n+1}\right)^2 A\left(\frac{1}{2\eta_0}\frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{n+1}{n}} R^{\frac{3n+1}{n}}\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{3n+1}{n}}\right] \qquad (5)$$

Поскольку, с другой стороны, записанное соотношение является разностью температур экструдируемой среды на оси и на стенке, то подстановкой r=0 в уравнение (5), определяем,

что эта разность может быть записана в виде:

$$T_0 - T_w = \frac{\eta_0}{k}\left(\frac{n}{3n+1}\right)^2 A\left(\frac{1}{2\eta_0}\frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{n+1}{n}} R^{\frac{3n+1}{n}}$$

Окончательно, уравнение (5) перепишем в форме:

$$\frac{T - T_w}{T_0 - T_w} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{3n+1}{n}}$$

Полученное соотношение в совокупности с выражением для v определяет основные закономерности моделируемого процесса.

Полученные результаты моделирования проанализированы с точки зрения возможности их реализации в виде технического решения [5].

Основной задачей такого технического решения является повышение равномерности распределения ингредиентов и перемешивания экструдируемой смеси в объеме корпуса, что обеспечивает более интенсивное измельчение кукурузного зерна с разделением его на амилозу и амилопектин при получении модифицированного крахмала, в том числе при наличии химически инертного реагента (например, перманганата калия). Это ведет к получению готового продукта с повышенной прочностью создаваемого геля, более эффективному формированию оболочки и исключению разрушения изготавливаемых гранул.

Получаемый эффект от применения такого технического решения состоит в том, что наличие перфорированных и сплошных витков шнековой нарезки обеспечивает не только радиальное, но и осевой движение экструдируемой смеси. Кроме того, такое перемешивание при перемещении смеси через перфорацию дополнительно измельчает входящие в смесь ингредиенты и обеспечивает их более равномерное размещение в объеме корпуса и более интенсивное взаимодействие. Влага, остающаяся при реализуемом процессе, отводится из кольцевого зазора.

Возможность решения поставленной задачи обуславливается тем, что в шнековом экструдере, четные лопасти винтовой нарезки шнека, отсчитывая со стороны матрицы, выполняют перфорированными с равномерно распределенными отверстиями, оси которых параллельны оси вала шнека, а диаметры равны 0,05-0,06 диаметра лопасти винтовой нарезки, причем кольцевой зазор, для установки матрицы, снабжают отводом для излишков влаги выделяемой из экструдируемого сырья.

Такое исполнение шнека поясняется рисунке 3, на котором представлено продольное сечение шнекового экструдера предлагаемой конструкции, со сплошной и перфорированной лопастями цилиндрической нарезки.

Шнековый экструдер состоит из корпуса 1, внутри которого установлен шнек 2, соединенный с приводом 3, загрузочного устройства 4 и матрицы 5, закрепленной в кольцевом зазоре 6, между концом шнека и внутренней стенкой корпуса. Винтовая нарезка выполнена в виде лопастей, причем ее четные лопасти 7, отсчитываемые со стороны матрицы, выполнены перфорированными с равномерным распределением отверстий. Оси выполненных отверстий параллельны оси вала шнека, а диаметры их равны 0,05-0,06 диаметра лопасти винтовой нарезки. Нечетные лопасти 8 являются сплошными, причем первая из них примыкает к кольцевому зазору для установки матрицы, снабженному отводом для удаления излишков влаги, выделяемой из экструдируемого сырья.

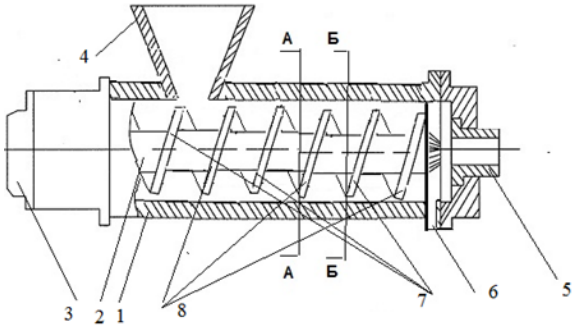


Рисунок 3 – Усовершенствованный шнековый экструдер

Figure 3 – Advanced screw extruder

Шнековый экструдер работает следующим образом: продукт, например, измельченная кукуруза, при необходимости смешанная с химическим реактивом, преимущественно раствором перманганата калия, через загрузочное устройство 4 поступает в корпус 1, где шнек 2 соединенный с приводом 3 транспортирует его в сторону матрицы 5. Винтовая нарезка шнека представляющая последовательно чередующиеся четные перфорированные лопасти 7 и сплошные нечетные лопасти 8, последними в процессе транспортирования давит на продукт в направлении оси шнека и за счет наклона лопастей заставляет его с слое между соседними лопастями перемешиваться в радиальном направлении. Четные перфорированные лопасти 7 в это же самое время, за счет возникающей силы давления, обеспечивают через перфорацию еще и возможность перемещения части материала в осевом направлении, вдоль оси шнека, подвергая материал дополнительному измельчению. Это позволяет более равномерно по объему корпуса перемешивать экструдируемый материал, обеспечивая более эффективное взаимодействие частиц кукурузы с химическим реагентом. Излишки влаги удаляются из кольцевого зазора 6 через отвод при прохождении экструдируемого сырья по направлению к матрице.

Предлагаемая конструкция шнекового экстудера позволяет повысить эффективность производства модифицированных крахмалов, поскольку обеспечивает более равномерное

измельчение и перемешивание экструдируемой смеси. Это, в частности, при производстве модифицированных крахмалов из кукурузы создает более благоприятные условия для взаимодействия ингредиентов смеси при расщеплении связей с образованием амилозы и амилопектина с последующим их модифицированием.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Авторами на основании проведенных реологических иссследований [6-8] выявлено, что особенности течения сред, с использованием крахмалсодержащей основы или составы со значительным наличием разного рода крахмалов при воздействии повышенных давлений и значительных температур, как правило, подчиняются степенному закону Оствальда-де-Виля, а сами среды относятся к аномально-вязким жидкостям:

$$\tau = m\dot{\gamma}^n$$

где: τ – напряжение сдвига, Па, γ̇ - скорость сдвига, $с^{-1}$, m – параметр консистенции, Па·$с^n$, n – индекс течения.

Указанные соображения были положены в основу обработки экспериментальных данных для среды проходящей предматричную зону предложенной конструкции экструдера.

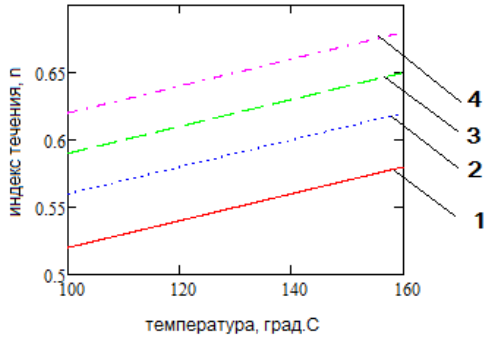


Рисунок 4 – Изменение индекса течения в предматричной зоне при первоначальной влажности смеси: линия1 – 12 %; линия 2 – 14 %; линия 3 – 16 % и линия 4 – 18 %

Figure 4 – Change in the flow index in the pre-matrix zone at the initial humidity of the mixture: line1 – 12 %; line 2 – 14 %; line 3 – 16 % and line 4 – 18 %

Аналогичные исследования проводились и для параметра консистенции m.

Приведенные данные позволяют сравнить влияние температуры и начальной влажности смеси на коэффициенты уравнения Оствальда-де-Виля, которому соответствует среда, проходящая через предматричную зону экструдера. Анализ построенных графиков говорит о том, что температурный режим экструдирования менее важен для процесса, чем влажность первоначально загружаемой смеси. К аналогичным выводам пришли автора работы [9]. Разный характер изменения этих характеристик (убывающий для параметра m и возрастающий для n) свидетельствует о пластифицирующем действии выделяемой жидкости при экструзии крахмала, которая снижает степень разрушения зерен при интенсивном сдвиге [10].

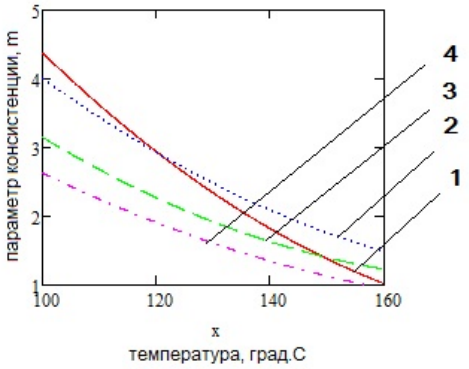


Рисунок 5 – Изменение параметра консистенции в предматричной зоне при первоначальной влажности смеси: линия1 – 12 %; линия 2 – 14 %; линия 3 – 16 % и линия 4 – 18 %

Figure 5 – Change in the consistency parameter in the pre–matrix zone at the initial humidity of the mixture: line1 – 12 %; line 2 – 14 %; line 3 – 16 % and line 4 – 18 %

ВЫВОДЫ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили описать уточняющую модель для случая интенсификации осевого перемещения экструдируемой смеси и получить ее решение для течения несжимаемой неньютоновской жидкости, вязкость которой предполагается подчиненной закону Оствальда-де-Виля. Эти решения необходимы для оптимизации процессов, проходящих в предматричной зоне предложенного экструдера, обеспечивающего дополнительную составляющую осевой скорости ее перемещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Choudhary, O.P. Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components / O.P. Choudhary, Priyanka Choudhary // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 6, No. 5. P. 1877–1882.

2. Reimer, L. Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis / Ludwig Reimer (Author), P.W. Hawkes (Editor). – Publisher: Springer (December 1, 2010). – 543 pp.

3. Способ производства модифи цированного крахмала. Кузина Л.Б., Литвяк В.В., Лукин Н.Д., Кузьмина Л.Г., Никитина М.Ф., Копыльцов А.А. Патент на изобретение RU 2780025 C2, 19.09.2022.

4. Аксенова О.И. Разработка аппарата и определение рациональных режимов процесса для экструзионной переработки вторичного сырья

пищевого назначения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ИТМО, СПб, 2020, 356 с.

5. Основы защиты интеллектуальной собственности. Алексеев Г.В., Боровков М.И., Дмитриченко М.И., Тартышный А.А. Учебное пособие / СПб, 2012, 156 с.

6. Василенко, В. Н. Аналитическое определение температурных полей биополимеров в формующем канале экструдера при коэкструзии [Текст] / В. Н. Василенко [и др.] // Вестник ВГУИТ. - 2014. - № 1. - С. 13-18.

7. Сидоренко, А. С. Математическая модель неизотермического течения высоковязких сред в каналах матрицы экструдера [Текст] / А. С. Сидоренко, А. И. Потапов // Вестник ВГУИТ. - 2015. - № 4. - С. 48-52.

8. Изучение режимов кавитационного разрушения пищевого сырья как элемента нанотехнологий. Арет В.А., Алексеев Г.В., Верболоз Е.И., Кондратов А.В. Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. 2007. № 3. С. 29-31..

9. Шахов, С. В. Теоретическое описание закона распределения давления пищевого материала по длине винтового канала шнека в зависимости от сил трения в условиях стесненного сжатия [Текст] / С. В. Шахов [и др.] // ФЭС: Финансы. Экономика. - 2018. - Т. 15, № 9. - С.61-69.

10.Шевцов, А. А. Математическое моделирование течения расплава зерновой смеси через кольцевой канал матрицы экструдера [Текст] / А. А. Шевцов [и др.] // Известия ВУЗов. Пищевая технология. - 2008. - № 5-6. - С. 105-108.

Информация об авторах

Г. В. Алексеев - доктор технических наук, профессор Университета ИТМО.

А. П. Савельев - кандидат технических наук, докторант Университета ИТМО.

А. А. Бирченко – соискатель Университета ИТМО.

Е. Н. Ивлева - аспирант ОЦ «Энергоэффективные инженерные системы» Университета ИТМО.

REFERENCES

1. Choudhary, O.P. (2017). Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6(5). 1877–1882.

2. Reimer, L. (2010). (Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis. Publisher: Springer (December 1, 2010). 543 pp.

3. Kuzina L.B., Litvyak V.V., Lukin N.D., Kuzmina L.G., Nikitina M.F. & Kopyltsov A.A. (2022). The method of production of modified starch. Patent for invention RU 2780025 C2, 09/19/2022. (in Russ.).

4. Aksenova, O.I. (2020). Development of apparatus and determination of rational process modes for extrusion processing of secondary raw materials for food purposes. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. ITMO, St. Petersburg, 356 p. (in Russ.).

5. Alekseev, G.V., Borovkov, M.I., Dmitrichenko, M.I. & Tartyshny, A.A. (2012). Textbook Fundamentals of intellectual property protection. St. Petersburg, 156 p. (in Russ.).

6. Vasilenko, V. N. [et al.] (2014). Analytical determination of temperature fields of biopolymers in the forming channel of an extruder during co-extrusion. Vestnik VGUIT. (1). 13-18. (in Russ.).

7. Sidorenko, A. S. & Potapov, A. I. (2015). Mathematical model of non-isothermal flow of high-viscosity media in channels extruder matrices. Vestnik VGUIT. (4). 48-52. (in Russ.).

8. Aret V.A., Alekseev G.V., Verboloz E.I. & Kondratov A.V. (2007). Study of the modes of cavitation destruction of food raw materials as an element of nanotechnology. Proceedings of the St. Petersburg State University of Low-temperature and Food Technologies. (3). 29-31. (in Russ.).

9. Shakhov, S. V.[et al.] (2018). Theoretical description of the law of pressure distribution of food material along the length of the screw channel of the screw depending on the friction forces in conditions of constrained compression. FES: Finance. Economy. 15(9). 61-69. (in Russ.).

10. Shevtsov, A. A. [et al.] (2008). Mathematical modeling of the flow of a grain mixture melt through the annular channel of the extruder matrix. Izvestiya VUZov. Food technology. (5-6). 105-108. (in Russ.).

Information about the Authors

G. V. Alekseev - Doctor of Technical Sciences, Professor ITMO University.

A. P. Saveliev - candidate of technical sciences, doctoral student ITMO University.

A. A. Birchenko - competitor ITMO University.

E. N. Ivleva - graduate student Educational Center "Energy Efficient Engineering Systems" ITMO University.

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

Статья поступила в редакцию 14 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 14 Feb 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 62–65.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 62–65.

CC BY

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.009
EDN: QOBRLX

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЫКВЫ И ПРОДУКТОВ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Яна Владимировна Малолеткова [1], Анатолий Викторович Зимичев [2]

[1, 2] ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет, Самара, Россия
[1] yana.maloletkova@yandex.ru
[2] zav711948@mail.ru

Аннотация. *Использование альтернативного сырья в пищевой промышленности, способствующего улучшению потребительских свойств и повышающему пищевую ценность, является на сегодняшний день актуальным вопросом. В статье проведен обзор исследований по использованию тыквы и продуктов ее переработки в пищевой промышленности. Также представлено исследование, направленное на разработку технологического процесса получения слабоалкогольного напитка, сырьем для которого послужила тыква «Волжская серая», культивируемая в Самарской области. В проводимом эксперименте для брожения использовались разные дозировки дрожжей, а исходное сусло, помимо дрожжей, готовили из тыквенного пюре, воды, солодового экстракта и сахара. Брожение продолжалось 10 суток. В полученный отфильтрованный виноматериал добавляли растительные водные экстракты. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о целесообразности использования тыквы для получения слабоалкогольных напитков.*

Ключевые слова: *натуральные добавки, альтернативное сырье, тыква, слабоалкогольный напиток.*

Для цитирования: Малолеткова Я. В., Зимичев А. В. Использование тыквы и продуктов ее переработки в пищевой промышленности // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 62 – 65. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.009, EDN: https://elibrary.ru/QOBRLX.

Original article

STUDYING POSSIBILITY OF USING PUMPKIN AND ITS PROCESSING PRODUCTS IN FOOD INDUSTRY

Yana V. Maloletkova [1], Anatoliy V. Zimichev [2]

[1, 2] Samara Politeh, Samara, Russia [1]
yana.maloletkova@yandex.ru
[2] zav711948@mail.ru

Abstract. *The use of alternative raw materials in the food industry, which improves consumer properties and increases nutritional value, is a pressing issue today. The article reviews research on the use of pumpkin and its processed products in the food industry. Also presented is a study aimed at developing a technological process for producing a low-alcohol drink, the raw material for which was the Volga Gray pumpkin, cultivated in the Samara region. In the experiment, different dosages of yeast were used for fermentation, and the initial wort, in addition to yeast, was prepared from pumpkin puree, water, malt extract and sugar. Fermentation lasted 10 days. Plant aqueous extracts were added to the resulting filtered wine material. Thus, the data obtained indicate the advisability of using pumpkin to produce low-alcohol drinks.*

Keywords: *natural supplements, alternative raw materials, pumpkin, low-alcohol drink.*

For citation: Maloletkova, Ya. V. & Zimichev, A. V. (2024). Studying possibility of using pumpkin and its processing products in food industry. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 62-65. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.009. EDN: https://elibrary.ru/QOBRLX.

© Малолеткова Я. В., Зимичев А. В., 2024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЫКВЫ И ПРОДУКТОВ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВВЕДЕНИЕ

Все большую популярность среди населения набирает стремление к здоровому образу жизни. В современном мире человек подвержен ряду негативных воздействий, таких как стрессы, плохая экология, несбалансированное питание. Питание – это часть, на которую необходимо обратить особое внимание, оно должно обеспечивать организм всеми необходимыми веществами. Современный ритм жизни диктует свои правила, и у большинства людей не хватает времени на полноценные приемы пищи. В связи с этим актуальным является вопрос о функциональных продуктах, в том числе подходящих для перекусов. Одно из приоритетных направлений государственной политики РФ в области здорового питания населения – создание функциональных продуктов питания, призванных удовлетворить физиологические потребности организма человека в пищевых веществах и энергии.

В Стратегии научно-технического развития Российской Федерации до 2035 г. выделены основные направления переработки сельскохозяйственного сырья и производства продуктов питания: сохранение и расширение сырьевой базы; повышение конкурентоспособности пищевой продукции на внутреннем и внешнем рынках с использованием традиционных видов сырья [1].

Для обогащения продуктов полезными веществами в пищевой промышленности используется ряд натуральных добавок, таких как зерновое, плодово-ягодное и овощное сырье, а также листья и экстракты из растений.

Одним из популярных и доступных овощей в Самарской области выращивается тыква. Плоды тыквы – это источник богатого набора биологически активных веществ, пектина, витаминов, каратиноидов и других веществ. Наиболее культивируемой является «Волжская серая», достигающая массы до 15 кг, обладающая хорошей лежкостью, устойчивости к болезни и вредителям.

Использованию тыквы посвящены публикации ряда ученых [2, 3].

В Санкт-Петербургском аграрном университете разработали рецептуру бисквита с добавлением порошка из тыквенных семечек и тыквенного пюре. Исследования показали, что внесение в бисквитный полуфабрикат 10 % тыквенного пюре и 5 % порошка из тыквенных семечек в замен пшеничной муки положительное влияет на пищевую ценность продукта, при этом не ухудшая физико-химических и органолептических свойства изделия [4].

Ученые Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина выяснили, что добавка порошка из тыквы в количестве 10 % повышает кислотность хлеба на 1.4 °Т и замедляет образование плесени на 6 дней по сравнению с контролем. Также данная добавка улучшает структуру мякиша, вкус и аромат изделия [5].

В Кубанском государственном технологическом университете изучили использование шрота из семян тыквы в хлебопечении и выяснили, что при добавлении шрота тыквенных семян в количестве 1-3 % хлеб получается большего объема, повышается пористость его мякиша, удельный объем хлеба возрастает на 2,8 - 7,9 %, пористость на 2,9 – 5,8 % по сравнению с контролем [6].

МЕТОДЫ

В Самарском ГТУ на основе «Волжской серой» тыквы разработаны технологии производства слабоалкогольного напитка, тыквенного термостабильного желе для выпечки слоенных хлебобулочных изделий, а также плодово-ягодных начинок для корпусных и желейных кондитерских изделий, а также покрытые йогуртовыми глазурями с использованием в рецептурах яблочного и яблочно-ягодного пюре (брусника, клюква, слива, кизил, абрикос, груша, киви, ананас, банан). Фруктовые и ягодные компоненты вводились в тыквенное пюре в соотношениях от 1-3 к 10 в зависимости от используемых органолептических характеристик получаемых изделий [7,8,9]. В СамГТУ проведены исследования по получению слабоалкогольного напитка. В соответствии с поставленными задачами объектом исследования служила «Волжская серая» тыква. Исследования проводились в лаборатории Высшей биотехнологической школы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Измельченная и очищенная от кожуры «Волжская серая» тыква нагревалась в емкости с очищенной водой при постоянном перемешивании. Затем масса подвергалась диспергированию до образования пюреобразной кашицы. Эксперименты по брожению проводились с разной дозировкой дрожжей. Исходное сусло для брожения готовили из тыквенного пюре, воды, солодового экстракта, дрожжей и сахара. Составы смесей для брожения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав компонентов в емкостях брожения

Table 1 – Composition of components in fermentation tanks

Номер емкости	Масса дрожжей, г	Масса тыкв. пюре, г	Вода, дм³	Солодовый экстракт, см³	Сахар, г
1	0,5	500	1	50	5
2	0,75	500	1	50	5
3	1,00	500	1	50	5
4	1,25	500	1	50	5
5	1,5	500	1	50	5

Все компоненты тщательно перемешивали и оставляли при комнатной температуре для брожения, которое велось в течение 10 суток. На 3 сутки брожения проведено определение сухих веществ и для увеличения крепости по спирту конечного продукта, добавлено дополнительно 5 % сахара от общей массы смеси в каждый образец.

Сахар в виде сиропа для добавления в емкости с тыквенным сырьем готовили путем смешивания сахара с бродящим суслом. После растворения раствор вводили обратно в бродильную емкость.

Через 10 суток после начала брожения дрожжи осели, что послужило показателем окончания брожения.

Полученный виноматериал отфильтровали от осадка и на его основе готовили напитки с добавлением растительных водных экстрактов, доля которых составляла от 5 до 15 % по объему.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматривая «Волжскую серую» тыкву в качестве сырья для производства алкогольных напитков, стоит отметить множество положительных моментов и крайнюю степень пригодности ее для переработки. Тыква обладает не только хорошим содержанием сахаров (3 – 11 %), что очень важно для брожения, но и достаточно высоким количеством крахмала, который при ферментации увеличивает содержание сахаров. Тыква неприхотлива в хранении, так как может содержаться при комнатной температуре, и не требует специальных условий, единственным является достаточно просторные хранилища, вследствие больших размеров отдельных плодов. Все это ставит тыкву как сырье выше картофеля и других распространенных источников сахаров и крахмала, из чего можно сделать вывод, что изготовление слабоалкогольных напитков из тыквы – оправданное и рентабельное дело.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации : утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г., № 642. URL: http://kremlin.ru/acts/bank/41449.

2. Перспективы использования семян тыквы в хлебопечении и производстве мучных кондитерских изделий / М. Б. Икрами, М. Б. Шарипова, Х. Абдуллоева, М. Самадова // Вестник технологического университета Таджикистана, 2022, 4-1 (51), 55-59.

3. Николаева, Л. В. Использование тыквы в хлебобулочных изделиях / Л. В. Николаева // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства : Материалы международной научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 23–24 марта 2023 года. Том Выпуск XXV. Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2023. С. 177-180.

4. Матушкина, Т. И. Разработка технологии производства бисквитов с использованием тыквы / Т. И. Матушкина, А. А. Кузнецова, Р. А. Федорова // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК : Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся, Санкт-Петербург-Пушкин, 24–26 марта 2021 года. Том Часть 1. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2021. С. 143-146.

5. Зубкова, Т. В. Использование тонкодисперсных порошков из моркови и тыквы в технологии хлебопечения / Т. В. Зубкова, В. Л. Захаров // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2016. № 1. С. 84-89.

6. Вершинина, О. Л. Использование шрота из семян тыквы в хлебопечении / О. Л. Вершинина, Е. С. Милованова, И. М. Кучерявенко // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 1(12). С. 18-20.

7. Темникова, О. Е. Разработка технологии хлеба пшеничного с добавлением тыквенного пюре / О. Е. Темникова, А. К. Мустакаева, А. В. Зимичев // Инновационные технологии в пищевой промышленности : Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Самара, 14–16 апреля 2016 года. Самара: Самарский государственный технический

университет, 2016. С. 32-33.

8. Зимичев А.В., Леонтьев Д.А., Чалдаев П.А. Разработка технологии медового спиртного напитка с использованием тыквы // Материалы городской студенческой научно-практической конференции «Студенческая наука как ресурс исследовательского потенциала». – Шымкент: Университет «Мирас», 2014. Т. VI. С. 67-69.

9. Темникова, О. Е. Возможность применения тыквы в технологии хлебобулочных изделий / О. Е. Темникова, В. В. Бахарев, А. К. Мустакаева // Хлебопродукты. 2018.№ 10. С. 45-46. DOI 10.32462/0235-2508-2018-0-10-45-46A.

10. Терехин Т. [и др.]. // Успехи физиологических наук. 1995. Т. 26, N 4. С. 75–97.

Информация об авторах

Я. В. Малолеткова – старший преподаватель Высшей биотехнологической школы Самарского государственного технического университет.

А. В. Зимичев – кандидат химических наук, профессор Высшей биотехнологической школы Самарского государственного технического университет.

REFERENCES

1. Strategiya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii (2016). Utverzhdena Ukazom Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 1 dekabrya 2016 g., № 642. (in Russ.).

2. Ikrami, M. B., SHaripova, M. B., Abdulloeva, H. & Samadova, M. (2022). Prospects for the use of pumpkin seeds in baking and the production of flour confectionery products. Vestnik of the Technological University of Tajikistan, 4-1 (51), 55-59. (in Russ.).

3. Nikolaeva, L. V. (2023). Ispol'zovanie tykvy v hlebobulochnyh izdeliyah. Current issues of improving the technology of production and processing of agricultural products: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Joshkar-Ola, 23–24 marta 2023 goda. Tom Vypusk XXV. Joshkar-Ola: Marijskij gosudarstvennyj universitet, 177-180. (in Russ.).

4. Matushkina, T. I. Kuznecova, A. A. & Fedorova R. A. (2021). Razrabotka tekhnologii proizvodstva biskvitov s ispol'zovaniem tykvy. Intellektual'nyj potencial molodyh uchenyh kak drajver razvitiya APK : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh i obuchayushchihsya, Sankt-Peterburg-Pushkin, 24–26 marta 2021 goda. Tom CHast' 1. – Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 143-146. (in Russ.).

5. Zubkova, T. V. & Zaharov V. L. (2016). Ispol'zovanie tonkodispersnyh poroshkov iz morkovi i tykvy v tekhnologii hlebopecheniya. Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. (1). 84-89. (in Russ.).

6. Vershinina, O. L., Milovanova, E. S. & Kucheryavenko, I. M. (2009). Ispol'zovanie shrota iz semyan tykvy v hlebopechenii. Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. 1(12). 18-20. (in Russ.).

7. Temnikova, O. E., Mustakaeva, A. K. & Zimichev A. V. (2016). Razrabotka tekhnologii hleba pshenichnogo s dobavleniem tykvennogo pyure. Innovacionnye tekhnologii v pishchevoj promyshlennosti : Sbornik statej III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Samara, 14–16 aprelya 2016 goda. Samara: Samarskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2016. 32-33. (in Russ.).

8. Zimichev A.V., Leont'ev D.A., CHaldaev P.A. (2014). Razrabotka tekhnologii medovogo spirtnogo napitka s ispol'zovaniem tykvy. Materialy gorodskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoj kon-ferencii «Studencheskaya nauka kak resurs issledovatel'skogo potenciala». SHymkent: Universitet «Miras», (VI). 67-69. (in Russ.).

9. Temnikova, O. E. Baharev, V. V. Mustakaeva A. K. (2018). Vozmozhnost' primeneniya tykvy v tekhnologii hlebobulochnyh izdelij. Hleboprodukty.(10). 45-46. (in Russ.). DOI 10.32462/0235-2508-2018-0-10-45-46.

10. Terekhin T. [et al.]. (1995). Successes of physiological sciences. 1995. 26(4). 75-97. (in Russ.).

Information about the authors

Ya. V. Maloletkova – senior lecturer at the Higher Biotechnological School of Samara State Technical University.

A. V. Zimichev – Candidate of Chemical Sciences, Professor of the Higher Biotechnological School of Samara State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 30 октября 2023; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 30 Oct 2023; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 66–74.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 66–74.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 547.97:663.052:633.491
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.010

EDN: HUKOPF

ВЛИЯНИЕ АНТОЦИАНОВОГО КРАСИТЕЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДОВ СЛАДКИХ ПИЩЕВЫХ

Ольга Валентиновна Голуб [1], Александр Михайлович Захаренко [2], Олег Константинович Мотовилов [3], Галина Петровна Чекрыга [4]

[1, 2, 3, 4] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, рабочий поселок Краснообск Новосибирский район, Новосибирская область, Россия

[1]golubov@sfsca.ru; https://orcid.org/0000-0003-2561-9953
[2]zakharenko@sfsca.ru; https://orcid.org/0000-0002-9520-8271
[3]motovilovok@sfsca.ru; https://orcid.org/0000-0003-2298-3549
[4]chekrygagp@sfsca.ru; https://orcid.org/0000-0002-3756-1798

Аннотация: *Антоцианы представляют собою группу соединений, наиболее часто используемых в качестве натуральных пищевых красителей. Льды сладкие пищевые представляют собой здоровую альтернативу мороженому. Цель работы – провести исследования по определению возможности использования антоцианового красителя из Solarium tuberosum L. при изготовлении льда сладкого пищевого. Основные ингредиенты рецептур льдов: ягоды Vaccinium vitis-idaea L., мед натуральный, стабилизатор (ксантантановая камедь), краситель из Solarium tuberosum L., вода питьевая. Методы исследований (органолептические, физико-химические и микробиологические) – стандартные. Установлено, что количество используемых ингредиентов в рецептуре оказывало влияние на внешний вид, цвет, консистенцию, структуру, запах, вкус, содержание общих сухих веществ, сахаров, антоцианов, кислотность. Льды, содержащие краситель в количество 0,1 % от массы сырья, получили наивысшую органолептическую оценку - обнаружена достоверная (p<0,05) положительная корреляция между антоцианинами и цветом (средняя), консистенцией, структурой (незначительная). Хранение продукции при температуре минус 20±2 °С в течение 18 месяцев в полипропиленовой пленке массой 50 г привело к ухудшению запаха, структуры, консистенции и вкуса (сохранность в среднем 58,8 %), внешнего вида и цвета (потери в среднем 28,7 %), незначительному увеличению общих сухих веществ (в среднем 1,01 раз), снижению сахаров (в 1,02 раза), кислотности (в 1,02 раза) и антоцианинов (в 1,39 раза). Микробиологическая безопасность и температура в центре продукции в процессе хранения оставались в пределах регламентируемых показателей. Таким образом, результаты этого исследования расширили существующие знания о возможностях использования антоциановых красителей из Solarium tuberosum L. при создании замороженных десертов и могут быть использованы при создании новых продуктов, отвечающих требованиям здорового питания.*

Ключевые слова: *антоцианы, краситель, Solarium tuberosum L., льды сладкие пищевые, органолептические показатели, физико-химические показатели, микробиологические показатели, хранение.*

Для цитирования: Голуб О.В., Захаренко А.М., Мотовилов О.К., Чекрыга Г.П., Влияние антоцианового красителя на формирование органолептических и физико-химических характеристик льдов сладких пищевых // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 66 – 74. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.010, EDN: https://elibrary.ru/HUKOPF.

© Голуб О. В., Захаренко А. М., Мотовилов О. К., Чекрыга Г. П., 2024

ВЛИЯНИЕ АНТОЦИАНОВОГО КРАСИТЕЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДОВ СЛАДКИХ ПИЩЕВЫХ

Original article

INFLUENCE OF ANTHOCYANINE DYE ON FORMATION OF ORGANOLEPTIC AND PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SWEET FOOD ICES

Olga V. Golub [1], Alexander M. Zakharenko [2], Oleg K. Motovilov [3], Galina P. Chekryga [4]

[1, 2, 3, 4]Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region working village Krasnoobsk, Russia
[1] golubov@sfsca.ru; https://orcid.org/0000-0003-2561-9953
[2] zakharenko@sfsca.ru; https://orcid.org/0000-0002-9520-8271
[3] motovilovok@sfsca.ru; https://orcid.org/0000-0003-2298-3549
[4] chekrygagp@sfsca.ru; https://orcid.org/0000-0002-3756-1798

Abstract: *Anthocyanins are a group of compounds most often used as natural food colorings. Sweet food ices are a healthy alternative to ice cream. The purpose of the work is to conduct research to determine the possibility of using anthocyanin dye from Solarium tuberosum L. in the production of sweet food ice. The main ingredients of ice recipes: berries of Vaccinium vitis-idaea L., natural honey, stabilizer (xanthanthan gum), dye from Solarium tuberosum L., drinking water. Research methods (organoleptic, physicochemical and microbiological) are standard. It was found that the amount of ingredients used in the recipe influenced the appearance, color, consistency, structure, smell, taste, content of total solids, sugars, anthocyanins, and acidity. Ice containing a dye in an amount of 0,1% by weight of the raw material received the highest organoleptic rating - a significant (p<0,05) positive correlation was found between anthocyanins and color (average), consistency, structure (insignificant). Storing products at a temperature of minus 20±2 °C for 18 months in polypropylene film weighing 50 g led to a deterioration in smell, structure, consistency and taste (safety on average 58,8%), appearance and color (loss on average 28, 7%), a slight increase in total dry matter (on average 1,01 times), a decrease in sugars (1,02 times), acidity (1,02 times) and anthocyanins (1,39 times). Microbiological safety and temperature in the center of the product during storage remained within the regulated parameters. Thus, the results of this study expand the existing knowledge about the possibilities of using anthocyanin dyes from Solarium tuberosum L. in the creation of frozen desserts and can be used in the creation of new products that meet the requirements of healthy nutrition.*

Keywords*: anthocyanins, dye, Solarium tuberosum L., sweet food ices, organoleptic indicators, physicochemical indicators, microbiological indicators, storage gratitude to his / her colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.*

For citation: Golub, O. V., Zakharenko, A. M., Motovilov, O. K. & Chekryga, G. P. (2024). Influence of anthocyanine dye on formation of organoleptic and physical-chemical characteristics of sweet food ices. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 66-74. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.010. EDN: https://elibrary.ru/HUKOPF.

ВВЕДЕНИЕ

Цвет является одним из основных параметров качества пищевой продукции и напрямую влияет на ее восприятие и выбор потребителями. С целью придания, усиления или восстановления окраски продуктов питания используются пищевые красители. По своему происхождению пищевые красители делятся на натуральные, т.е. полученные из растительных тканей (например, антоцианы, куркумин и пр.), клеток животных (например, карминовая и кермезиновая кислоты, пр.), минеральных источников (например, диоксид титана, кальция и пр.), в результате метаболизма микроорганизмов (например, каротиноиды, хлорофиллы, пр.), и искусственные – полученные путем химического синтеза и в природе не встречающиеся (например, амарант, ксантен, пр.). В последние годы искусственные пищевые красители нашли широкое применение из-за своей стабильности (при воздействии различных температур, света, кислотности и пр.), хорошей растворимости, обеспечении однородности цвета продукции, низкого риска загрязнения микроорганизмами, пр. [1,2]. Однако, отмечается возрастающий интерес к натуральным красителям из-за меняющегося образа жизни потребителей, в том числе, из-за обеспокоенности последних по поводу потенциальных неблагоприятных последствий для здоровья. [3, 4, 5]. Например, синтетический краситель Е133 (синий блестящий FCF, бриллиантовый голубой FCF) ингибирует рост нейритов и действует синергично с L-глутаминовой кислотой *in vitro*, что указывает на потенциальную нейротоксичность, пуринергические рецепторы, которые важны для поддержания клеточного гомеостаза и контроля воспаления и апоптоза [6], Е102 (тартразин) изменяет ферментативную активность протеаз *in vivo*, что может иметь вредные последствия для пищеварения [7].

Натуральные пищевые красители становят-

ся все более востребованными не только из-за обеспокоенности потребителей безопасностью искусственных пищевых добавок, но и из-за потенциальной пользы для здоровья. [5]. При этом использование натуральных пищевых красителей ограничено их внутренней молекулярной нестабильностью, а также более высокой стоимостью по сравнению с искусственными, необходимостью более высоких концентраций для достижения эквивалентной интенсивности цвета, а также более узким диапазоном оттенков – красно-сине-фиолетовыми антоцианами, красными беталаинами, зелеными хлорофиллами и желто-оранжево-красными каротиноидами. [8]

Наиболее распространенные соединения, используемые в качестве натуральных пищевых красителей, - антоцианы (E163), представляющие собой водорастворимые пигменты, обычно локализующиеся в вакуолях растительных клеток. [4, 8, 9]. Антоцианы принадлежат к группе флавоноидов. Преобладающие формы антоцианов - пеларгонидин, цианидин, пеонидин, дельфинидин, петунидин и мальвидин. Цвет продуктов, богатых антоцианиновыми пигментами варьируется от темно-синего (черника, *Vaccinium sp*. L. – основной антоциан дельфинидин-3-галактозид) до фиолетового (баклажан, *Solanum melongena* L. – дельфинидин-3-(р-кумароилрутинозид)-5-глюкозид) и красного (клубника, *Fragaria* × *ananassa* - пеларгонидин-3-глюкозид).

Традиционными источниками антоцианов являются плоды и овощи (малина, вишня, красный лук, фиолетовая морковь и пр.), однако ведутся исследования по использованию нетрадиционных, например, плодов паслена Санберри, клоновых подвоев яблони, выжимок плодов черники и брусники, пр. [10, 11, 12, 13].

Выбор метода получения антоциановых пищевых красителей во многом зависит от исходного сырья, природы антоцианов и пр. [4, 9, 14, 15, 16]. Например, Чернобровиной А.Г. с соавторами предложено для получения термостабильных антоциановых красителей из плодов культивируемой красной смородины, дикорастущих малины, брусники и клюквы проводить ферментативно-тепловую обработку сырья [17]; Малеева А.З. с соавторами разработана технология получения пищевой добавки из виноградных выжимок (общее количество антоцианов 3,5-3,7 г/дм^3), состоящая из последовательного воздействия электромагнитной, ферментативной и физико-химической (экстрагирование, прессование, фильтрование, концентрирование) обработок сырья [18]; Разгоновой М.П. с соавторами - из дикорастущих плодов голубики болотной, различных видов смородины и жимолости, предусматривающая использование сверхкритической флюидной CO_2-экстракции в комплексе с другими растворителями [19]; Pereira R.N. с соавторами - из картофеля с синими и фиолетовыми тонами (*Solanum tuberosum* L. var. Vitelotte), предусматривающая использование омического нагрева посредством приложения умеренных электрических полей, обладающего функциональными свойствами за счет содержащихся глюкозидов петунидина, мальвидина и дельфинидина [20]; Puértolas E. с соавторами – из картофеля с пурпурной окраской мякоти (*Ipomoea batatas* L.), предусматривающая использование импульсного электрического поля, воды в качестве растворителя и низких температур (не выше 40 °C) с высоким содержанием антоцианов (65,8 мг/100 г) [21].

Цвет антоцианов, их стабильность и реакционная способность зависят от множества факторов - сопряженных двойных связей, количества и положения гидроксильных групп, степени метилирования -OH-групп, уровней гликозилирования и pH, пр. [17, 22].

Основные свойства для здоровья, связанные с антоцианами – противораковые, противодиабетические, антиоксидантные, противовоспалительные [4, 23]. Например, Bontempo P. с соавторами исследовали действие антоцианы картофеля (*Solanum tuberosum* L. var. Vitelotte) при раке молочной железы и гематологическом раке, в результате которых установили, что при лечении происходит модуляция регуляторов клеточного цикла, ингибирование передачи сигналов Akt-mTOR вызывающая созревание клеток острого миелолейкоза [24]; Strugała P. с соавторами – доказали антидиабетическую активность и антиоксидантный статус ацилированного антоциана петунидин-3-*O*-*p*-кумарил-рутинозид-5-*O*-глюкозида фиолетового картофеля сорта Blue Congo variety у крыс Вистар с диабетом, индуцированным стрептозотоцином [25].

Поскольку в последние годы отмечается рост потребительского спроса в отношении продуктов питания, содержащих только нативные ингредиенты, проводятся разработки по созданию данной группы продукции, в том числе за счет использования натуральных пищевых добавок [26, 27, 28, 29, 30, 31]. Льды сладкие пищевые могут выступать в качестве полезных замороженных десертов с многочисленными органолептическими возможностями [32, 33, 34, 35]. Простота их изготовления является еще одним преимуществом их доступности на рынке.

Цель работы – провести исследования по определению возможности использования антоцианового красителя из *Solarium tuberosum* L. при изготовлении льда сладкого пищевого. Задачи работы: исследования влияния различных количеств добавляемого антоцианового красителя на органолептические и физико-химическое характеристики льда сладкого пищевого; исследования качественных характеристик льда сладкого пищевого в процессе хранения.

МЕТОДЫ

Объектами исследований служили образцы сладкого пищевого льда (далее - льда), которые согласно ГОСТ Р 55625-2013 «Льды сладкие пищевые. Технические условия» представляют собой фруктовые льды без аромата с пищевкусовыми продуктами.

В таблице 1 представлены наилучшие варианты рецептур льда – количество ингредиентов подобрано в соответствии с проведенными ранее исследованиями.

Таблица 1 – Расход сырья на 100 кг льда сладкого пищевого (без учета потерь), кг

Table 1 – Consumption of raw materials per 100 kg of sweet food ice (excluding losses), kg

Сырье	Вариант продукта		
	1	2	3
Ягоды брусники	17,00	15,00	13,50
Мед натуральный	25,00	25,00	26,00
Ксантановая камедь	0,30	0,30	0,30
Антоциановый краситель	0,05	0,10	0,15

В ранее проведенных нами исследованиях установлены условия экстракции в сверхкритической системе флюидной экстракции в присутствии CO_2 и этанола, в количестве 2,5 % в жидкой фазе, клубней *Solarium tuberosum* L. (давление 600 бар, температура 70 °С), позволяющие получить антоциановый краситель, представляющего собой порошок темно-фиолетового цвета, содержащий не менее 87,0 % растворимых сухих веществ, 3,90±0,15 г/кг антоцианов, pH от 4,5 до 4,9 ус.ед. [36]. В качестве пищевкусовых продуктов использовали ягоды *Vaccinium vitis-idaea* L., мед натуральный, стабилизатор (ксантантановая камедь), показатели качества которых соответствовали требованиям действующей нормативной документации - ГОСТ 20450-2019 «Брусника свежая. Технические условия», ГОСТ 33823-2016 «Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия», ГОСТ 19792-2017 «Мед натуральный. Технические условия», ГОСТ 33333-2015 «Добавки пищевые. Камедь ксантановая Е415. Технические условия».

Технологический процесс производства льда включал в себя следующие операции: перемешивание ингредиентов, кроме CO_2-экстракта из *Solarium tuberosum* L. (красителя); ультразвуковая обработка смеси; охлаждение; выдерживание; перемешивание с CO_2-экстрактом из *Solarium tuberosum* L. (красителем); формование; закаливание; упаковывание; дозакаливание; хранение. В закрытую емкость вносилась вода питьевая температурой 65-70 °С, мед натуральный, ксантановая камедь (стабилизатор), свежие ягоды брусники. [37]. Смесь перемешивалась и подвергалась ультразвуковой обработке при температуре 65-70 °С в течение 15-25 мин при частоте ультразвуковых колебаний 22 кГц и интенсивности ультразвукового воздействия 20 Вт/см^2. Смесь охлаждалась до температуры 2-6 °С и выдерживалась в течение 4-6 ч, в нее добавлялся CO_2-экстракт из *Solarium tuberosum* L. (краситель), перемешивался в течение 10-15 мин, формовался и закаливался до температуры минус 10-15 °С, упаковывался, дозакаливался в течение 24-36 ч до температуры в центре не выше минус 18 °С, хранился при температуре минус 20±2 °С в течение 18 месяцев.

Исследования содержания общих сухих веществ, кислотности и температуры в центре продукта осуществляли согласно ГОСТ Р 55625-2013 «Льды сладкие пищевые. Технические условия», сахаров (включая сахарозу) согласно ГОСТ 8756.13-87 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров». Исследования микробиологических показателей (мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, плесневых грибов, дрожжей, а также бактерий группы кишечных палочек) осуществляли согласно ГОСТ 10444.12-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов», ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов», ГОСТ 31746-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*» и ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа». В образцах методом pH-дифференциальной спектрофотометрии определяли массовую долю суммы антоцианинов согласно ГОСТ 32709-2014 «Продукция соковая. Методы определения антоцианинов». Органолептическую оценку образцов осуществляли согласно балльной шкале, разработанной Тяпкиной Е.В.: коэффициенты весомости внешнего вида, цвета, консистенции, структуры, запаха и вкуса соответственно 0,1, 0,1, 0,1, 0,2, 0,2 и 0,3; уровни качества «отличная», «хорошая», удовлетворительная» и неудовлетворительная» соответственно в пределах 4,6-5,0, 3,6-4,5, 2,6-3,5, менее 2,5 баллов [38].

При проведении исследований использовали следующее лабораторное оборудование: автоклав Prestige Medical Classic Standart (Великобритания), баню водяную Biosan WB-4MS (Латвия), весы лабораторные Ohaus PA2102C (Китай), весы лабораторные Ohaus PA214 (Китай), гомогенизатор HG-15F-Set (Корея), микроскоп Микромед 2 (Россия), настольный измеритель pH Ohaus Starter 2100 (Китай), плиту программируемую ПЛП-03 НПП «Томьаналит» (Россия), спектрофотометр СФ-102 (Россия), стерилизатор паровой ВК-0701 (Россия), термометр-щуп ИТ7-В (Россия), термостат MIR-262 Sanyo (Япония), УЗ-аппарат «Алена» (Россия), центрифуга Termo SL 40R (Германия), шейкер орбитальный OS-20 (Латвия), шкаф сушильный ШС-80 (Россия).

Статистический анализ проводили с использованием программы Statistica 10. Все экспериментальные определения проводили в пяти повторностях, результаты представляли, как среднее значение ± стандартное отклонение. Для анализа данных проводился однофакторный дисперсионный анализ, апостериорный тест Тьюки – для сравнения средних значений. Оценку силы влияния красителя на формирование качественных характеристик продукции определяли методом Снедекора. Для оценки взаимосвязи между органолептическими и физико-химическими характеристиками продукции проводился корреляционный анализ, используя критерий Пирсона. Для определения влияния срока хранения на изменения качественных характеристик продукции проводился регрессионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены результаты органолептической оценки исследуемых вариантов льдов.

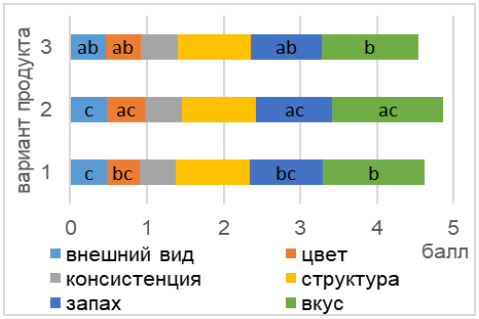


Рисунок 1 – Оценка органолептических показателей льдов сладких пищевых (p < 0,05)
Примечания: различия средних значений по показателю с разными строчными буквами существенны

Figure 1 – Assessment of organoleptic characteristics of sweet food ices (p < 0,05)
Notes: differences in average values for indicators with different lowercase letters are significant

Установлено, что по показателю «внешний вид» все образцы льда получили одинаковое количество баллов (0,48), представляя собой непрозрачную, матовую порцию продукта конусовидной формы, с ровной и гладкой поверхностью, без повреждений, с плотно держащейся палочкой, выступающей из продукции не менее чем на 3 см. Аналогичная тенденция характерна и для показателей «консистенция» и «структура» льда – все образцы получили соответственно по 0,48 и 0,96 баллов: лед обладал плотной (твердой) консистенцией, однородной, с неощутимыми кристаллами льда структурой; ягоды обладали нежной консистенцией, упругой структурой.

Наилучшим, красно-фиолетовым цветом, равномерным по всей массе, отличался второй образец льда, получившим максимальное количество баллов (0,50). Третий образец незначительно уступал второму по цвету, получил 0,46 баллов, в отличие от первого, который получил 0,42 балла, поскольку в них отметили излишние оттенки соответственно красного и фиолетового цветов. Следует отметить, что цвет ягод, находящихся в массе – темно-красный.

Наилучшими запахом и вкусом обладал второй образец льда (соответственно 1,00 и 1,44 баллов) - запах был чистым, медовым, с оттенками ягод брусники, вкус был чистым, освежающим, сладким, медовым, с приятной кислинкой при прожёвываемости ягод брусники. В первом образце в запахе и вкусе отметили излишние оттенки ягод брусники (соответственно 0,96 и 1,32 баллов), а в третьем – меда (соответственно 0,92 и 1,26 баллов).

Категория качества первого и второго образцов льда «отличная» (норма свыше 4,6 баллов), третьего – «хорошая» (от 3,60 до 4,59 баллов).

В таблице 2 представлены результаты исследований физико-химических показателей образцов льдов.

Таблица 2 – Физико-химические показатели льдов сладких пищевых (p < 0,05)

Table 2 – Physico-chemical parameters of sweet food ices (p < 0,05)

Показатель	Вариант продукта		
	1	2	3
Массовая доля общих сухих веществ, %	22,06± 0,01^{bc}	21,85± 0,01^{ac}	22,49± 0,01^{ab}
Кислотность, °Т	6,41±0, 01^{bc}	6,00±0, 01^{ac}	5,83±0, 01^{ab}
Массовая доля сахаров (включая сахарозу), %	20,65± 0,01^{bc}	20,50± 0,01^{ac}	21,16± 0,01^{ab}
Температура в центре продукта, °С	19±1	19±1	19±1
Массовая концентрация антоцианинов, мг/100 г, в пересчете на цианидин 3-глюкозид	0,189± 0,008^{bc}	0,382± 0,015^{ac}	0,562± 0,022^{ab}
Примечания: различия средних значений в строке с разными строчными буквами существенны			

Количество сухих веществ и кислотность представляют собой факторы, влияющие на стабильность цвета – чем их больше, тем лучше стабильность [39]. Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что химический состав, а, следовательно, физико-химические показатели, напрямую зависит от содержания основных ингредиентов рецептуры (ягод брусники и меда натурального) опытных образцов льдов. Исследуемые образцы льдов ранжируются следующим образом по содержанию: общих сухих веществ, а также сахаров (включая сахарозу) - третий > первый > второй; органических кислот – первый > второй > третий. Температура всех исследуемых образцов в центре продукта не превышала регламентируемые минус 18 °С. Содержание антоцианов в образцах льда зависела от количества используемого в рецептуре красителя, а, следовательно, образцы льда ранжируются следующим образом: третий > второй > первый.

В результате проведенных исследований установили, что добавление антоцианового кра-

сителя из *Solarium tuberosum* L. оказывает существенное влияние на формирование внешнего вида, цвета, запаха и вкуса при изготовлении льда сладкого пищевого – сила влияния соответственно 93,0, 98,4, 98,0 и 94,9 % ($p < 0,01$). Используемый краситель оказывал значительное влияние на физико-химические показатели продукции – общие сухие вещества, кислотность и содержание антоцианинов (сила влияния 99,9 %, $p = 0,00$). Не выявили влияния красителя на формирование консистенции и структуры продукции, как и на содержание в последней сахарозы, температуры в центре продукта ($p > 0,05$).

Коэффициенты корреляции Пирсона между органолептическими и физико-химическими показателями опытных образцов льдов приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Коэффициенты корреляции Пирсона между органолептическими и физико-химическими показателями вариантов льдов сладких пищевых ($p < 0,05$)

Table 3 - Pearson correlation coefficients between organoleptic and physico-chemical indicators of sweet food ice options ($p < 0,05$)

Показатель	Общие сухие вещества	Кислотность	Сахара	Антоцианины
Внешний вид	-0,95	0,73	-0,98	-0,86
Цвет	-0,32	-0,69	-0,21	0,52
Консистенция	-0,75	-0,23	-0,68	0,02
Структура	-0,75	-0,23	-0,68	0,02
Запах	-0,98	0,29	-0,95	-0,48
Вкус	-0,93	0,10	-0,88	-0,31

В образцах льдов отметили высокую положительную связь между кислотностью и внешним видом опытных образцов льдов. При этом отметили очень высокую отрицательную связь между общими сухими веществами и внешним видом, запахом, вкусом, между сахарами и внешним видов, запахом, между антоцианинами и внешним видом опытных образцов льдов, высокую отрицательную связь между сухими веществами и консистенцией, структурой, а также между сахарами и вкусом. Положительная средняя связь отмечена между антоцианинами и цветом образцов льдов, отрицательная – между кислотностью и цветом, между сахарами и консистенцией, структурой. В опытных образцах льдов отметили незначительные положительную корреляцию между кислотностью и запахом, вкусом, между антоцианинами и консистенцией, структурой, отрицательную - между сухими веществами и цветом, между кислотностью и консистенцией, структурой, между сахарами и цветом, между антоцианинами и запахом, вкусом.

На основании проведенных исследований выявлена наилучшая рецептура льда, которому присвоено рабочее название «Искра» (второй вариант).

Хранение льда, упакованного полипропиленовую пленку массой 50 г, осуществляли при температуре минус 20±2 °С в течение 18 месяцев (с учетом коэффициента резерва 1,15 согласно МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов» для нескоропортящихся продуктов). Результаты исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Динамика изменений показателей качества льда сладкого пищевого «Искра» в процессе хранения ($p < 0,05$)

Table 4 - Dynamics of changes in quality indicators of sweet food ice “Iskra” during storage ($p < 0,05$)

Показатель	Срок хранения, мес			
	0	6	12	18
Массовая доля общих сухих веществ, %	21,85±0,01^{b-d}	21,88±0,01^{acd}	21,96±0,01^{abc}	22,14±0,01^{a-c}
Кислотность, °Т	6,00±0,01^{cd}	5,99±0,01^{d}	5,97±0,01^{ac}	5,91±0,01^{a-c}
Массовая доля сахаров (включая сахарозу), %	20,50±0,01^{b-d}	20,45±0,01^{acd}	20,33±0,01^{abd}	20,07±0,01^{a-c}
Температура в центре продукта, °С	19±1	19±1	19±1	19±1
Массовая концентрация антоцианинов, мг/100 г, в пересчете на цианидин 3-глюкозид	0,382±0,015^{b-d}	0,351±0,014^{ac}	0,332±0,013^{ac}	0,275±0,011^{a-c}
Внешний вид, балл	0,48±0,04^{cd}	0,46±0,05^{cd}	0,42±0,04^{ab}	0,32±0,04^{ac}
Цвет, балл	0,50±0,00^{cd}	0,48±0,04^{d}	0,46±0,05^{ac}	0,38±0,04^{a-c}
Консистенция, балл	0,48±0,04^{cd}	0,46±0,05^{cd}	0,40±0,00^{abd}	0,30±0,00^{a-c}
Структура, балл	0,96±0,08^{b-d}	0,92±0,10^{acd}	0,84±0,08^{abd}	0,56±0,08^{a-c}
Запах, балл	1,00±0,00^{cd}	0,96±0,08^{cd}	0,84±0,08^{abd}	0,56±0,08^{a-c}
Вкус, балл	1,44±0,12^{cd}	1,38±0,15^{cd}	1,20±0,00^{abd}	0,84±0,12^{a-c}
Среднее количество колоний, КОЕ/г: - мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов[1] - дрожжей[2] - плесеней[2]	 Нет роста Нет роста Нет роста	 Нет роста Нет роста Нет роста	 Нет роста Нет роста Нет роста	 Нет роста Нет роста Нет роста
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы)[3]	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено

Примечания: различия средних значений в строке с разными строчными буквами существенны
[1]Не более $1 \cdot 10^5$ КОЕ/г согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»
[2]Не более 100 КОЕ/г согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»
[3]Не допускается в 0,01 г согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»

Пониженные температуры, используемые при изготовлении льда и его последующем хранении, позволяют ингибировать многие метаболические процессы, замедлять кинетику роста микроорганизмов, предотвращать реакции разложения многих соединений, в том числе обладающих физиологическими свойствами (антоцианов, фенольных кислот и пр.), пр. [39, 40]

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что в процессе хранения льда содержание общих сухих веществ, в том числе сахаров и кислотности, существенно изменялись - происходило увеличение количества общих сухих веществ с 21,85 до 22,14 % ($p < 0,01$), при одновременном снижении количества кислотности и сахаров, включая сахарозу, соответственно с 6,00 до 5,91 °Т ($p < 0,01$) и с 20,50 до 20,07 % ($p < 0,05$). Температура в центре продукта в процессе хранения оставалась неизменной, не выше минус 18 ºС ($p > 0,05$). Содержание антоцианинов в процессе хранения льда снижалось – к концу 12 и 18 месяцев хранения сохранность нутриента составляла соответственно в среднем 87 и 72 % ($p < 0,01$).

Из данных таблицы 4 видно, что через 12 и 18 месяцев хранения льда произошли изменения органолептических показателей – категория качества соответственно снизилась с отличной (4,86 баллов) до соответственно «хорошей» и «удовлетворительной» (соответственно 4,16 и 3,46 баллов). По истечении 18 месяцев хранения льда наибольшие потери характерны для показателя «запах» (44,0 %, $p < 0,01$) - терял выраженность меда. Значительные потери характерны для показателя «структура» (41,7 %, $p < 0,01$) – лед становился плотным, а ягоды теряли упругость. Аналогичные потери (41,7 %, $p < 0,01$) характерны для показателя «вкус» - становился менее гармоничным, терял интенсивность меда, ягоды кислыми. Консистенция льда становилась в процессе хранения снежистой, а ягод жесткой, что и обусловило снижение оценок за данный показатель на 37,5 % к концу исследуемого периода хранения ($p < 0,01$). В процессе хранения внешний вид льда терял свою привлекательность, а цвет становился менее насыщенным – сохранность оценок за данные показатели по истечении 18 месяцев хранения составила соответственно 66,7 и 76,0 % ($p < 0,01$). Такого дефекта, как неоднородное распределение цвета на поверхности и нижней части продукта, из-за использования водорастворимого красителя [39], не отметили. Цвет ягод брусники в процессе хранения не изменялся.

Возможно снижение интенсивности цвета льда можно объяснить особенностями химической структуры используемого красителя и его окислением до бесцветных соединений под воздействием ферментов. При изготовлении использовалась «мягкая» технология, предусматривающая не только механическое, но не термическое, воздействие в отношении пищевой добавки, остались достаточно высокими значения кислотности продукции. [8, 41]

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что во льду на момент изготовления и по истечению 18 месяцев хранения отсутствовал рост мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, дрожжей и плесеней, не содержали бактерий группы кишечных палочек.

Полученные результаты можно представить в виде обобщенных регрессионных зависимостей изменений исследуемых показателей (y) от срока хранения (x) льда ($p = 0,00$):

- общих сухих веществ:

$$y = 21{,}815 + 0{,}016x, R^2 = 0{,}875; \quad (1)$$

- кислотности:

$$y = 6{,}011 - 0{,}005x, R^2 = 0{,}757; \quad (2)$$

- сахаров:

$$y = 20{,}549 - 0{,}024x, R^2 = 0{,}893; \quad (3)$$

- антоцианинов, в пересчете на цианидин 3-глюкозид:

$$y = 0{,}386 - 0{,}006x, R^2 = 0{,}870; \quad (4)$$

- внешний вид:

$$y = 0{,}498 - 0{,}009x, R^2 = 0{,}854; \quad (5)$$

- цвет:

$$y = 0{,}512 - 0{,}006x, R^2 = 0{,}826; \quad (6)$$

- консистенция:

$$y = 0{,}5 - 0{,}01x, R^2 = 0{,}889; \quad (7)$$

- структура:

$$y = 1{,}015 - 0{,}022x, R^2 = 0{,}838; \quad (8)$$

- запах:

$$y = 1{,}05 - 0{,}024x, R^2 = 0{,}858; \quad (9)$$

- вкус:

$$y = 1{,}568 - 0{,}047x, R^2 = 0{,}809. \quad (10)$$

Негативные изменения органолептических характеристик послужили основанием установления срока годности льдов не более 12 месяцев.

ВЫВОДЫ

Наше исследование демонстрирует потенциал использования CO_2-экстракта из *Solarium tuberosum* L. при изготовлении льдов сладких пищевых. Установили, что использование антоцианового красителя оказывает существенное влияние на формирование внешнего вида, цвета, запаха и вкуса продукции, а также на содержание в ней общих сухих веществ, кислот и антоцианинов. Продукция, содержащая антоциановый краситель в количестве 0,1 % от массы сырья, получила наивысшую органолептическую оценку.

Процесс хранения льдов сладких пищевых в течение 18 месяцев привел к ухудшению органолептических показателей (запах > структура, вкус > консистенция > внешний вид > цвет), увеличению количества общих сухих веществ, уменьшению содержания кислот и сахаров. Ис-

пользование красителя позволило обеспечить высокую сохранность антоцианов в продукции по истечении 18 месяцев хранения – потери составили 28,0 %. Использование красителя не оказывало влияния на температуру в центре продукта и микробиологическую безопасность при изготовлении и последующем хранении льдов.

Результаты исследований: расширили существующие знания о положительном воздействии CO_2-экстрактов из *Solarium tuberosum* L. при формировании качественных характеристик продуктов переработки сырья растительного происхождения; могут быть использованы при создании продукции, содержащей только нативные нутриенты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрченко В.В., Ингель Ф.И., Ахальцева Л.В. и др. Генетическая безопасность синтетических пищевых красителей. Обзор литературы //Экологическая генетика, 2021, 19(4), 323-341. https://doi.org/10.17816/ecogen79399

2. Ristea M.-E. and Zarnescu O. Indigo Carmine: Between Necessity and Concern //Journal of Xenobiotics, 2023, 13(3):509-528. https://doi.org/10.3390/jox13030033

3. Петыш Я.С. Анализ мирового рынка натуральных пищевых красителей //Хлебопродукты, 2015, 9, 20-22.

4. Luzardo-Ocampo I., Ramírez-Jiménez A.K., Yañez J., Mojica L. and Luna-Vital D.A. Technological Applications of Natural Colorants in Food Systems: A Review //Foods, 2021, 10(3), 634. https://doi.org/10.3390/foods10030634

5. Shammout M.-J.A., Alsaleh M.M., Natsheh I.Y., Albadawi D.K. and Alkhawaldeh A.K. Dyes Are the Rainbow of Our Health //Chemistry, 2023, 5(4), 2229-2245. https://doi.org/10.3390/chemistry5040149

6. Olas B., Białecki J., Urbańska K. and Bryś M. The Effects of Natural and Synthetic Blue Dyes on Human Health: A Review of Current Knowledge and Therapeutic Perspectives //Advances in Nutrition (Bethesda, Md.), 2021, 12(6), 2301-2311. https://doi.org/10.1093/advances/nmab081

7. Ameur F.Z., Mehedi N., Rivas C.S., Gonzalez A., Kheroua O. and Saidi D. Effect of tartrazine on digestive enzymatic activities: in vivo and in vitro studies //Toxicological Research, 2020, 36, 159-166. https://doi.org/10.1007/s43188-019-00023-3

8. Jurić M., Król-Kilińska Z., VlahovičekKahlina K., Vinceković M., Dragović-Uzelac V. and Donsì F. Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods //Food Reviews International, 2022, 38(8), 1735-1790. https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1837862

9. Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И., Егорова О.С. Производство и применение натуральных антоциановых пищевых красителей (обзор) //Пищевая промышленность, 2021, 10, 13-19. https://doi.org/10.52653/PPI.2021.10.10.017.

10. Акишин Д.В., Тафинцев Я.А., Палфитов В.Ф. Изучение паслена Санберри в открытом грунте Центрально-Черноземного региона //Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания, 2022, 1, 94-97. https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-1-94-97

11. Тарова З.Н., Дубровский М.Л., Дворецкий Д.С. и др. Клоновые подвои яблони как сырье для получения пищевых антоциановых красителей //Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания, 2022, 2, 171-178. https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-2-171-178.

12. Школьникова М.Н., Аверьянова Е.В. Выжимки ягодного сырья как источник антоциановых красителей //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2021, 10(1), 117-121. https://doi.org/10.46548/21vek-2021-1053-0021.

13. Barretto F.J.F.P., Clemente H.A., Bandeira A. and Vasconcelo M.A.S. Stability of encapsulated and non-encapsulated anthocyanin in yogurt produced with natural dye obtained from Solanum melongena L. Bark //Revista Brasileira de Fruticultura, 2020, 42(3). https://doi.org/10.1590/0100-29452020137

14. Даудова Т.Н., Исригова Т.А., Дайдова Л.А., Омарова М.М. Интенсификация экстракции антоциановых красителей ультразвуковой обработкой дикорастущих плодов //Проблемы развития АПК региона, 2021, 1(45), 160-163. https://doi.org/10.52671/20790996_2021_1_160.

15. Шевченко Т.В., Устинова Ю.В., Попов А.М. и др. Пути светостабилизации природных красителей с использованием фуллерена С60 //Пищевая промышленность, 2023, 1, 10-13. https://doi.org/10.52653/PPI.2023.1.1.002.

16. Candela R.G., Lazzara G., Piacente S., Bruno M., Cavallaro G. and Badalamenti N. Conversion of Organic Dyes into Pigments: Extraction of Flavonoids from Blackberries (*Rubus ulmifolius*) and Stabilization //Molecules, 2021, 26(20), 6278. https://doi.org/10.3390/molecules26206278

17. Чернобровина А.Г., Куликова Н.Е., Роева Н.Н. и др. Содержание, состав и термостабильность антоцианового красителя, полученного из ягодного сырья //Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2022, 2(222), 72-85. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_6.

18. Малеева А.З., Щербакова Е.В., Ольховатов Е.А. Инновационный способ производства антоцианового красителя из вторичных сырьевых ресурсов виноделия //Плодоводство и виноградарство Юга России, 2021, 69(3), 303-315. https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-3-69-303-315.

19. Разгонова М.П., Сенотрусова Т.А., Ли Н.Г. и др. Аспекты комплексной переработки дальневосточных ягодных культур //Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2023, 53(8), 15-26. https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-8-2.

20. Pereira R.N., Rodrigues R.M., Genisheva Z., Oliveira H., de Freitas V., Teixeira J.A. and Vicente A.A. Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato //LWT, 2016, 74, 493-503. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.074

21. Puértolas E., Cregenzán O., Luengo E., Álvarez I. and Raso J. Pulsed-electric-field-assisted extraction of anthocyanins from purple-fleshed potato //Food Chemistry, 2013, 136, 1330-1336. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.080

22. Fernández-López J.A., Fernández-Lledó V. and Angosto J.M. New insights into red plant pigments: More than just natural colorants //RSC advances, 2020, 10(41), 24669-24682. https://doi.org/10.1039/D0RA03514A

23. Alappat B. and Alappat J. Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics //Molecules, 2020, 25(23), 5500. https://doi.org/10.3390/molecules25235500

24. Bontempo P., De Masi L., Carafa V., Rigano D., Scisciola L., Iside C., Grassi R., Molinari A.M., Aversano R., Nebbioso A., Carputo D. and Altucci L. Anticancer activities of anthocyanin extract from genotyped Solanum tuberosum L. «Vitelotte» //Journal of Functional Foods, 2015, 19, 584–593. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.063

25. Strugała P., Dzydzan O., Brodyak I., Kucharska A.Z., Kuropka P., Liuta M., Kaleta-Kuratewicz K., Przewodowska A., Michałowska D, Gabrielska J. and Sybirna N. Antidiabetic and Antioxidative Potential of the Blue Congo Variety of Purple Potato Extract in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats //Molecules, 2019, 24(17), 3126.

https://doi.org/10.3390/molecules24173126

26. Кадрицкая Е.А., Школьникова М.Н., Кокорева Л.А. и др. Обоснование состава кондитерской глазури с меланином из гречневой лузги //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2022, 11(1), 58-63. DOI 10.46548/21vek-2022-1157-0011.

27. Казанцева С.Ю. Тренды российского рынка продуктов здорового питания //Экономика и предпринимательство, 2019, 10(111), 125-128.

28. Молибога Е.А., Сухостав Е.В., Козлова О.А., Зинич А.В. Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект //Техника и технология пищевых производств, 2022, 52(4), 775–786. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405

29. Игнатова Т.А., Подкорытова А.В., Березина М.О. Красная водоросль Palmaria palmata: биологическая и химико-технологическая характеристика, рекомендации по ее использованию как источника нутриентов в питании человека //Индустрия питания, 2023, 8(3), 134–151. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-3-14

30. Manohar S., Rehman V. and Sivakumaran B. Role of unfamiliarity and information on consumers' willingness to try new healthy foods //Food Quality and Preference, 2021, 87, 104037. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104037

31. Sun X., Follett P.A., Wall M.M., Duff K.S., Wu X., Shu C., Plotto A., Liang P. and Stockton D.G. Physical, Chemical, and Sensory Properties of a Turmeric-Fortified Pineapple Juice Beverage //Foods, 2023, 12(12), 2323. https://doi.org/10.3390/foods12122323

32. Лобачева Е.М., Давыденко Н.И., Голуб О.В., Тяпкина Е.В. Применение ягод красной смородины в качестве основы льдов пищевых //Индустрия питания, 2021, 6(1), 65-74. http://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-1-8.

33. Medeiros A.C. and Bolini H.M.A. Plant-Based Frozen Desserts: Temporal Sensory Profile and Preference //Brazilian journal of food technology, 2021, 24, e2020037. https://doi.org/10.1590/1981-6723.03720

34. Palka A. and Skotnicka M. The Health-Promoting and Sensory Properties of Tropical Fruit Sorbets with Inulin //*Molecules,* 2022, 27(13), 4239. https://doi.org/10.3390/molecules27134239.

35. Petkova T., Doykina P., Alexieva I., Mihaylova D. and Popova A. Characterization of Fruit Sorbet Matrices with Added Value from *Zizyphus jujuba* and *Stevia rebaudiana* //*Foods,* 2022, 11(18), 2748. https://doi.org/10.3390/foods11182748.

36. Захаренко А.М., Голохваст К.С., Голуб О.В., Мотовилов О.К. Исследование возможности получения антоцианового красителя из картофеля //Индустрия питания, 2021, 6(4), 76-86. http://doi.org/110.29141/2500-1922-2021-6-4-8.

37. Патент № 2774067 C1 Российская Федерация, МПК A23G 9/04, A23G 9/42. Способ производства замороженного продукта типа фруктовый лёд: № 2021132903: заявл. 11.11.2021: опубл. 15.06.2022 /О.В. Голуб, Е.В. Тяпкина, Н.И. Давыденко и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

38. Тяпкина Е.В. Органолептическая оценка качества льда сладкого пищевого //Молодежь в науке и предпринимательстве. – Гомель: БТЭУПК, 2020, 318-321.

39. Krahl T., Fuhrmann H. and Dimassi S. Ice cream //Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages, Woodhead Publishing, 2016, 197-207. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00009-9

40. Žlabur J.Š., Mikulec N., Doždor L., Duralija B., Galić A. and Voća S. Preservation of Biologically Active Compounds and Nutritional Potential of Quick-Frozen Berry Fruits of the Genus Rubus //Processes, 2021, 9(11), 1940. https://doi.org/10.3390/pr9111940

41. Enaru B., Drețcanu G., Pop T.D., Stănilă A. and Diaconeasa Z. Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation //Antioxidants, 2021, 10(12), 1967. https://doi.org/10.3390/antiox10121967

Информация об авторах

О. В. Голуб – д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотр. ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

А. М. Захаренко – канд. хим. наук, зам. д-ра по научно-технической работе ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

О. К. Мотовилов - д-р техн. наук, доцент, гл. науч. сотр. ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

Г. П. Чекрыга – канд. биол наук, вед. науч. сотрудник ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

Information about the authors

O. V. Golub - Dr.Sci.(Eng.), Professor, chief researcher of the Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

A. M. Zakharenko - Cand.Sci.(Ch.), deputy director for scientific and technical work of the Russian Academy of Sciences.

O. K. Motovilov - Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, chief researcher of the Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

G. P. Chekryga - Cand.Sci.(Biol.), leading researcher of the Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

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

Статья поступила в редакцию 10 ноября 2023; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 10 Nov 2023; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 75–81.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 75–81.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.681
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.011 EDN: QBGGHM

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ЯДРА СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА НА КАЧЕСТВО И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ СДОБНОГО ПЕЧЕНЬЯ

Татьяна Вячеславовна Белоусова [1], Елена Юрьевна Егорова [2], Наталья Андреевна Дудкина [3]

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

[1] tanya_belousova_808@mail.ru
[2] egorovaeyu@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4990-943X
[3] nataschada@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-3441-0627

Аннотация*. Стабильность потребительского спроса на сдобное печенье, при выраженных недостатках макро- и микронутриентного состава этого продукта, определяет перспективность разработки новых рецептур с учетом основных принципов пищевой комбинаторики. Семена подсолнечника отличаются от других масличных более высоким содержанием растворимого белка и повышенным скором лизина, лимитирующего усвояемость пшеничного белка. Эти особенности химического состава ядра семян подсолнечника определяют перспективность его введения в мучные кондитерские изделия, включая печенье. Целью работы стало исследование влияния параметров обработки и дозировки ядра семян подсолнечника на технологические свойства мучных смесей и качество выпеченного из них печенья. При выполнении исследований использовали сырое и обжаренное ядро семян подсолнечника 2023 года сбора. Контроль показателей, характеризующих технологические свойства мучных смесей и качество сдобного печенья, осуществляли с применением стандартных методов исследования. Использование ядра семян подсолнечника в составе мучных смесей сопровождалось линейным снижением их влажности, нарастанием титруемой кислотности и укреплением клейковинного белка (с переходом во II группу качества); более заметное снижение влажности (1 % и более) и нарастание кислотности (в пределах 1 град кислотности) наблюдалось в вариантах исследования с обжаренным ядром. По всем вариантам дозировки подсолнечного ядра зафиксировано снижение влажности и линейное повышение намокаемости выпеченных изделий (от 172 % на контроле до 185–215 %), при сохранении равномерной структуры пористости. Установлено, что необходимые технологические свойства теста и стандартное качество выпеченных изделий обеспечиваются при внесении в мучную смесь 6 % свежего или обжаренного ядра семян подсолнечника. Использование подсолнечного ядра сопровождается увеличением содержания в печенье белка, токоферолов и витаминов группы В, в числе незаменимых макро- и микроэлементов отмечено увеличение доли железа, магния, калия, цинка и органического фосфора.*

Ключевые слова*: пищевые технологии, мучные кондитерские изделия, сырье, печенье сдобное, качество, пищевая ценность, пищевая комбинаторика, ядро семян подсолнечника.*

Для цитирования: Белоусова Т. В., Егорова Е. Ю., Дудкина Н. А. Влияние параметров обработки ядра семян подсолнечника на качество и пищевую ценность сдобного печенья // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 75 – 81. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.011, EDN: https://elibrary.ru/QBGGHM.

Original article

INFLUENCE OF PROCESSING PARAMETERS SUNFLOWER SEED KERNELS ON THE QUALITY AND NUTRITIONAL VALUE OF BUTTER COOKIES

Tatyana V. Belousova[1], Elena Yu. Egorova[2], Natalia A. Dudkina[3]

[1, 2, 3] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[1] tanya_belousova_808@mail.ru

© Белоусова Т. В., Егорова Е. Ю., Дудкина Н. А., 2024

[2] egorovaeyu@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4990-943X
[3] nataschada@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-3441-0627

Abstract. *The stability of consumer demand for butter cookies, with pronounced disadvantages of the macro- and micronutrient composition of this product, determines the prospects for the development of new formulations taking into account the basic principles of food combinatorics. Sunflower is which differs from other oilseeds by a higher content of soluble protein and an increased content of lysine, which limits the digestibility of wheat protein. These features of the chemical composition of the sunflower seed kernel determine the prospects of its introduction into flour confectionery products, including cookies. The aim of the work was to study the effect of processing parameters and dosage of sunflower seed kernels on the technological properties of flour mixtures and the quality of cookies made from them. During the research, raw and roasted sunflower seed kernels from the 2023 harvest year were used. The control of indicators characterizing the technological properties of flour mixtures and the quality of butter cookies was carried out using standard research methods. The use of sunflower seed kernels in flour mixtures was accompanied by a linear decrease in their moisture content, an increase in titrated acidity and strengthening of gluten (with the transition to the II quality group); a more noticeable decrease in humidity (1% or more) and an increase in acidity (within 1°) was observed in the variants with fried kernels. For all dosage variants of sunflower kernels, a decrease in humidity and a linear increase in the wetness of baked products were recorded (from 172 % in the control version to 185-215 %), while maintaining a uniform porosity structure. It is established that the necessary technological properties of the dough and the standard quality of baked products are provided when 6% of fresh or fried sunflower seed kernels are added to the flour mixture. The use of sunflower kernels is accompanied by an increase in the content of protein, tocopherols and B vitamins in cookies, an increase in the proportion of iron, magnesium, potassium, zinc and organic phosphorus was noted among the essential macro- and microelements.*

Keywords: *food technologies, flour confectionery products, raw materials, butter cookies, quality, nutritional value, food combinatorics, sunflower seed kernel.*

For citation: Belousova, T. V., Egorova, E. Yu. & Dudkina, N. A. (2024). Influence of processing parameters sunflower seed kernels on the quality and nutritional value of butter cookies. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 75-81. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.011. EDN: https://elibrary.ru/QBGGHM.

ВВЕДЕНИЕ

Мировой рынок кондитерских изделий многие годы демонстрирует стабильную динамику роста. Не относясь к продуктам питания первой необходимости, эта категория продуктов пользуется постоянным спросом, что обусловлено их пищевой и социальной ролью. По данным на начало 2022 года, на мировом рынке кондитерских изделий Россия занимала 4-е место по объемам реализуемых кондитерских изделий [1], после чего был зафиксирован определенный спад, с повторным возвратом к нарастающим темпам объемов производства в 2023 году [2].

Около четверти объема экспорта отечественной кондитерской продукции ежегодно приходится на мучные кондитерские изделия, в структуре которых печенье сохраняет заслуженное 2-е место [1]. В региональных продажах мучных кондитерских изделий сдобное печенье занимает первое место [3], как и в структуре потребительских предпочтений при выборе мучных кондитерских изделий [4]. Это определяет целесообразность разработок новых рецептур печенья, несмотря на то, что сформировавшийся рынок мучных кондитерских изделий принято считать насыщенным [2].

Применение принципов пищевой комбинаторики в отношении новых рецептур продуктов питания предусматривает обеспечение их сбалансированности, прежде всего, по макронутриентам – соотношению белков, жиров и углеводов [5, 6]. Наиболее приоритетными направлениями совершенствования рецептур мучных кондитерских изделий в целом, и печенья в частности, и в России, и за рубежом считаются снижение доли сахара и насыщенных жиров [6, 7]. В зависимости от вида вводимого сырья, повышение нутрицевтического потенциала печенья с модифицированной рецептурой достигается как за счет белка и пищевых волокон, так и благодаря сопутствующему введению полифенольных соединений, витаминов, незаменимых минеральных веществ и ряда других биологически активных нутриентов [6, 8, 9].

Пшеничная мука первого и высшего сорта отличается от других видов злаковой муки повышенным содержанием белка, однако его усвояемость ограничена двумя факторами: высоким содержанием трудно гидролизуемых фракций (клейковины) и низким содержанием лизина. Как следствие, при оценке возможности повышения доли белкового компонента в новых мучных продуктах не менее важной задачей считается повышение сбалансированности белка по аминокислотному составу. Одновременное повышение доли белка и его усвояемости может быть обеспечено при внесении в печенье молочного сырья и яйцепродуктов, продуктов переработки семян некоторых бобовых и масличных культур [6, 10, 11], но значительная замена пшеничной муки сопровождается нежела-

тельными изменениями не только технологических свойств теста, но и дегустационных характеристик выпеченных изделий.

Одной из основных культур, масштабно возделываемых в Алтайском крае, является подсолнечник масличный, *Helianthus annuus L*. От многих других масличных культур семена подсолнечника отличаются более высоким содержанием белка, до 40 % которого приходится на легкогидролизуемые альбумины и глобулины [12]. Скор лизина, лимитирующего усвояемость пшеничного белка, в белке семян подсолнечника составляет около 70 % [13], что определяет перспективность введения продуктов переработки семян подсолнечника в мучные кондитерские изделия.

Ранее уже оценивалась возможность введения в мучные кондитерские изделия подсолнечного жмыха и шрота, белкового концентрата из семян подсолнечника, при этом было подтверждено улучшение аминокислотного профиля выпеченных изделий по треонину и лизину [10, 11]. Вместе с тем, ядро подсолнечника ценно не только составом своего белка, но и содержанием полиненасыщенных линолевой и α-линоленовой (0,5–1 %) кислот, сумма которых в составе подсолнечного масла составляет от 45 до 62 %. Следовательно, использование ядра семян подсолнечника дает возможность не только повысить усвояемость суммарного белка печенья, но и улучшить липидный профиль нового продукта. Кроме отмеченного, ядро семян подсолнечника является дополнительным пищевым источником витаминов группы В, фосфора и цинка [14].

Целью работы стало исследование влияния параметров обработки и дозировки ядра семян подсолнечника на технологические свойства мучных смесей и качество выпеченного из них печенья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными объектами исследований в работе были ядро семян масличного подсолнечника 2023 года сбора, мучные смеси и печенье, приготовленные с добавлением измельченного свежего и обжаренного ядра семян подсолнечника.

Исследование влияния параметров обработки и дозировки ядра семян подсолнечника на технологические свойства мучных смесей проводили путем определения массовой доли влаги, титруемой кислотности, количества и качества сырой клейковины. Ядро семян подсолнечника вводили в состав мучной смеси в сыром и обжаренном до золотисто-карамельного цвета виде, после измельчения и последующего просеивания через сито с диаметром отверстий 1 мм. Доля ядра семян подсолнечника в составе мучной смеси составляла от 2 до 10 % (шаг варьирования 2 %). Более существенное повышение дозировки ядра сопровождалось выраженным ухудшением структурно-механических свойств теста и тестовых заготовок.

Контроль показателей, характеризующих технологические свойства мучных смесей, проведен с применением стандартных методик исследования:

- органолептические показатели мучных смесей – по ГОСТ 27558-2022;
- влажность и титруемую кислотность мучных смесей, соответственно, по методикам ГОСТ 9404-88 и ГОСТ 27493-87;
- количество и качество сырой клейковины в мучных смесях – по 27839-2013.

В качестве базовой рецептуры использовали рецептуру сдобного печенья на сливочном масле, с заменой пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта на муку первого сорта с пониженным содержанием клейковины I группы. Для обеспечения необходимой разрыхленности печенья использовали стандартную смесь химических разрыхлителей – углекислый аммоний и двууглекислый натрий.

Тесто замешивали ручным способом, тестовые заготовки вырезали специальными формами. Выпечку печенья осуществляли в лабораторной печи UNOX XB 693, 5–7 минут при температуре 205–210 °С.

Качество печенья оценивали в соответствие с требованиями ГОСТ 24901-2014 «Печенье. Общие технические условия»:

- органолептические показатели печенья – по ГОСТ 5897-90;
- массовую долю влаги в печенье – по ГОСТ 5900-2014, высушиванием до постоянной массы при 130 °С;
- намокаемость печенья – гравиметрическим методом, по ГОСТ 10114-80;
- щелочность печенья – титрованием, по ГОСТ 5898-2022;
- золу, нерастворимую в 10 % растворе соляной кислоты, – по ГОСТ 5901-2014.

Результаты исследований обработаны в программном приложении Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам проведенных исследований, использование измельченного свежего и обжаренного ядра семян подсолнечника сопровождается четко выраженными тенденциями в изменении технологических свойств мучных смесей и приготовленного на их основе теста, что сопровождается соответствующим изменением качества готовых изделий. С увеличением доли измельченного ядра семян подсолнечника происходит снижение влажности (влажность свежего и обжаренного ядра составила 4,3 % и 0,7 %, соответственно) и нарастание титруемой кислотности мучных смесей, укрепление клейковинного белка и повышение количества отмываемой сырой клейковины (рисунок 1).

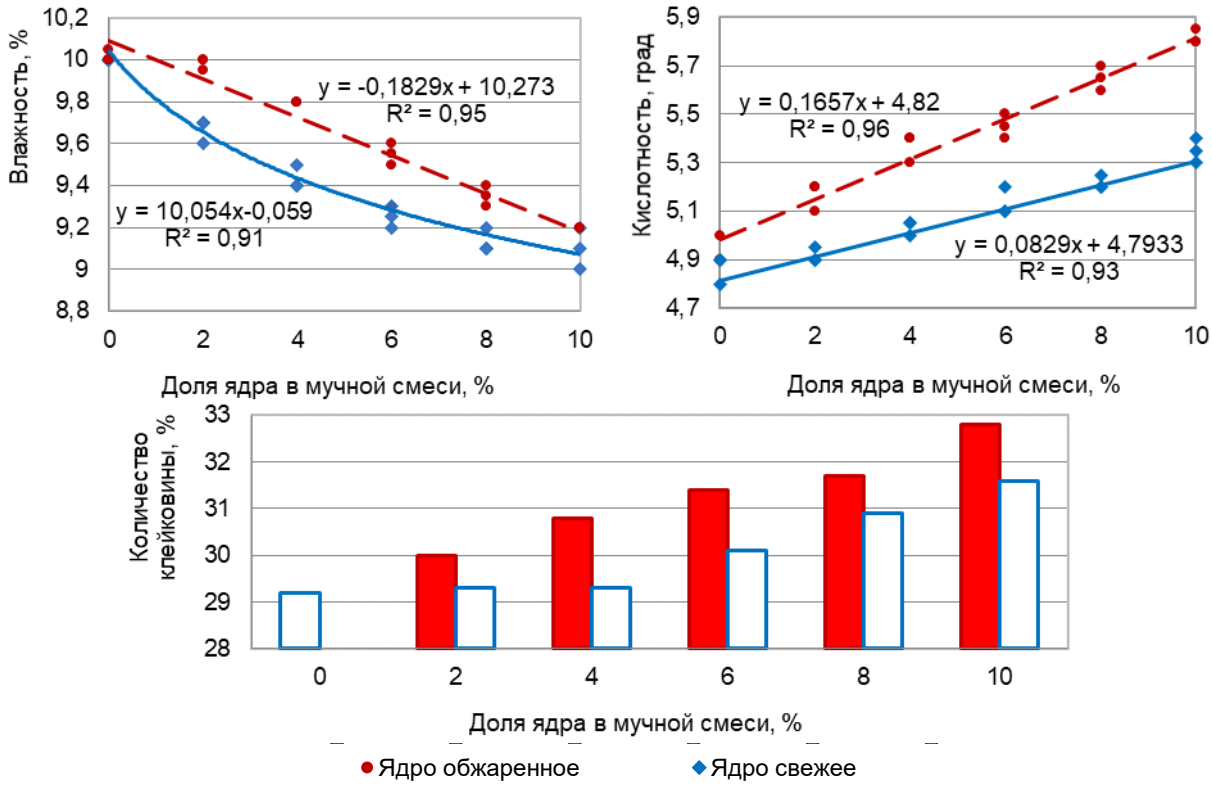


Рисунок 1 – Влияние способа обработки и дозировки ядра семян подсолнечника на технологические свойства мучных смесей

Figure 1 – The effect of the processing method and dosage of sunflower seed kernels on the technological properties of flour mixtures

Таблица 1 – Влияние способа обработки и дозировки ядра семян подсолнечника на качество клейковины в мучной смеси

Table 1 – The effect of the processing method and dosage of sunflower seed kernels on the quality of gluten in the flour mixture

Способ обработки ядра	Доля ядра подсолнечника в мучной смеси, %					
	0	2	4	6	8	10
Свежее	60 ед. ИДК, хорошая	55 ед. ИДК, хорошая		50 ед. ИДК, удовлетворительная крепкая		
Обжаренное		50 ед. ИДК, удовлетворительная крепкая				45 ед. ИДК, удовлетворительная крепкая

Последнюю закономерность, вероятно, следует связывать с появлением в мучных смесях свободных жирных кислот подсолнечного масла, их окислением при контакте с воздухом в процессе перемешивания и, как следствие, появлением новых дисульфидных связей в составе пшеничного белка под действием образовавшихся перекисных соединений. Закономерно также, что и нарастание титруемой кислотности (обусловленное, в том числе, появлением продуктов гидролиза жира – свободных жирных кислот), и укрепление клейковины более выражено в мучных смесях с обжаренным ядром семян подсолнечника (рисунок 1, таблица 1).

Как установлено в ходе эксперимента, способ предварительной обработки ядра семян подсолнечника отражается не только на технологических свойствах мучных смесей, но и на структурно-механических свойствах полуфабрикатов и готовых изделий. Тесто с добавлением обжаренного ядра проявляло более выраженные адгезивные свойства (по сравнению с тестом из мучных смесей со свежим ядром). По вариантам предельной дозировки и тесто, и выпеченное из него печенье были более «жирными».

Согласно результатам лабораторных исследований, печенье с добавлением свежего ядра сохраняло слабовыраженную пористость, поверхность изделий – гладкая, ровная. С наращиванием дозировки измельченного ядра цвет изделий становился более светлым и зеленоватым, что объясняется специфичной реакцией хлорогеновой кислоты семян подсол-

нечника с белками [11, 15]; у печенья проявились характерные привкус и запах жареных семечек. Печенье с обжаренным ядром имело характерный золотисто-карамельный цвет и незначительно утолщенный слой запекшейся корочки, что не отразилось на характерной слоисто-пористой структуре и пропеченности (рисунок 2).

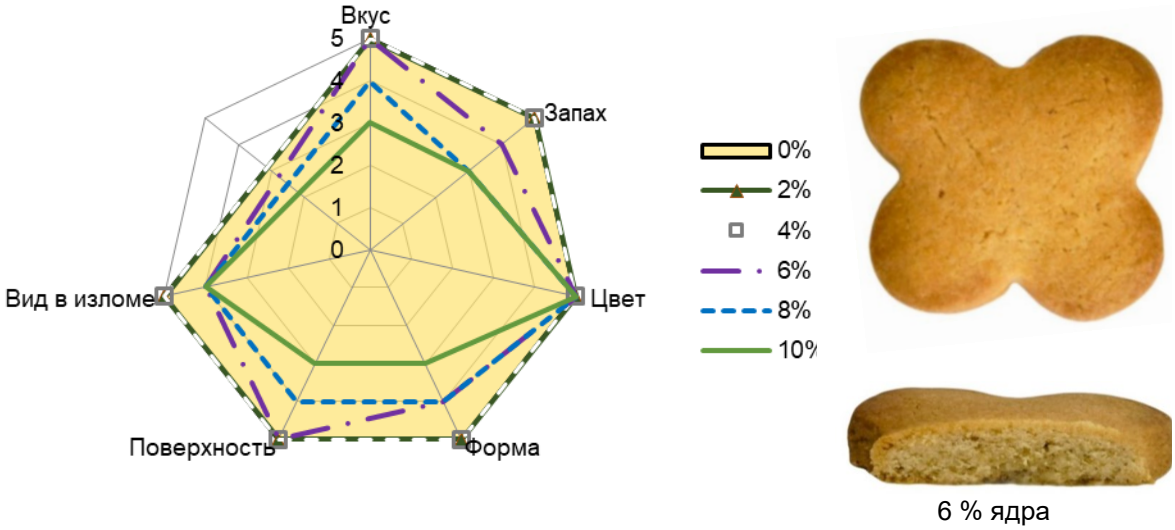


Рисунок 2 – Влияние дозировки обжаренного ядра семян подсолнечника на внешний вид и дегустационные свойства печенья

Figure 2 – The effect of the dosage of roasted sunflower seed kernels on the appearance and tasting properties of cookies

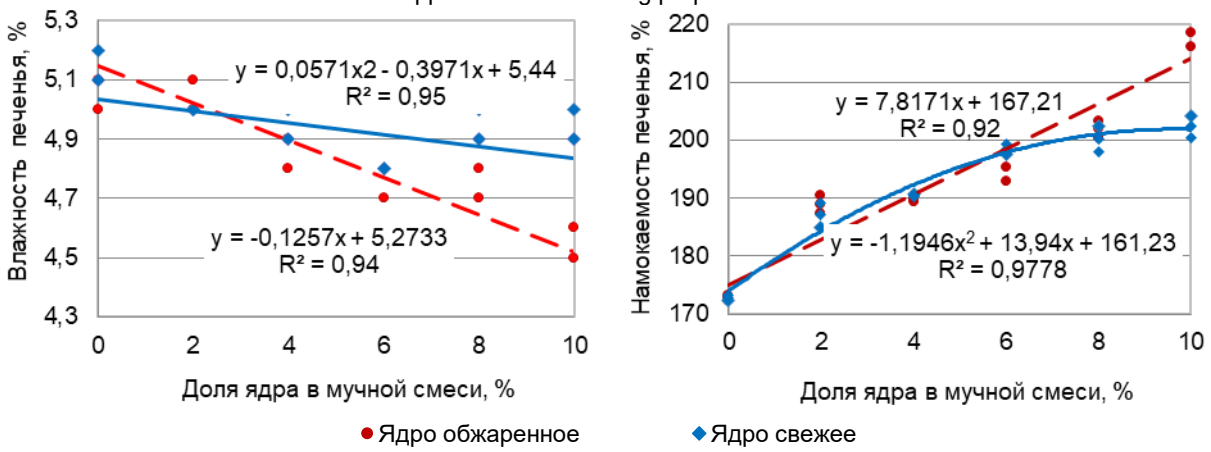


Рисунок 3 – Влияние способа обработки и дозировки ядра семян подсолнечника на влажность и намокаемость печенья

Figure 3 – The effect of the processing method and dosage of sunflower seed kernels on the moisture and wetness of cookies

Несмотря на то, что при замесе теста осуществлялась корректировка его влажности (из-за снижения влажности мучных смесей), по всем вариантам дозировки подсолнечного ядра зафиксировано снижение влажности выпеченных изделий (рисунок 3), то есть суммарный белок мучных смесей оказался не способен прочно связывать влагу и удерживать её в процессе выпечки. Более заметное снижение влажности и повышение величины упека при выпечке печенья (на 0,7–0,9 %) отмечено в вариантах исследования с обжаренным ядром, что коррелирует с известными научными данными о снижении водоудерживающей способности растительных белков после высокотемпературной обработки.

На одном из важнейших потребительских свойств печенья – его намокаемости – внесение ядра семян подсолнечника отразилось в высшей степени эффективно. При норме намокаемости для сдобного печенья не менее 150 %, значение этого показателя возрастало от 172 % на контроле до 185–215 % при внесении в мучную смесь свежего или обжаренного ядра семян подсолнечника. Можно предположить, что выявленный эффект обусловлен внесением с ядром подсолнечника жидкого жира, способного распределяться в тесте между частицами более

тонким слоем, обеспечивающим некую изолированность этих частиц и, как следствие, более развитую слоисто-разрыхленную структуру печенья, обусловливающую высокие значения его намокаемости.

Щелочность печенья по всем вариантам внесения ядра семян подсолнечника была в пределах 1,0–1,2 град; содержание золы также осталось в пределах нормы.

По совокупности показателей, отражающих технологические свойства мучных полуфабрикатов и выпеченной продукции, и для свежего, и для обжаренного ядра семян подсолнечника рекомендовано их внесение в мучную смесь в количестве 6 %. При этом обеспечиваются необходимые технологические свойства теста и стандартное качество выпеченных изделий.

Анализ пищевой ценности печенья, проведенный с учетом потерь сухих веществ при выпечке, свидетельствует о некотором повышении белка и жира (за счет полиненасыщенных жирных кислот подсолнечного масла) при соответствующем снижении доли усвояемых углеводов. Характеризуя витаминно-минеральную ценность печенья, можно отметить, что использование подсолнечного ядра сопровождается увеличением содержания в печенье токоферолов и витаминов группы В, в числе незаменимых макро- и микроэлементов установлено увеличение доли железа, магния, калия, цинка и органического фосфора.

ВЫВОДЫ

Таким образом, ядро семян подсолнечника является перспективным дополнительным сырьем для кондитерского производства, позволяющим расширить ассортимент и повысить пищевую ценность сдобного печенья. Внесение свежих или обжаренных ядер семян подсолнечника в рекомендуемой дозировке 6 % не ухудшает технологических свойств мучных смесей, теста и тестовых заготовок, сохраняя возможность серийного выпуска продукции стандартного качества.

С учетом рекомендуемых норм потребления кондитерских изделий (50 г в сутки) и уровней потребления витаминов и минеральных веществ по МР 2.3.1.0253-21, печенье с внесением 6 % свежих или обжаренных ядер семян подсолнечника можно классифицировать как обогащенное фосфором, магнием, цинком и марганцем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор ВЭД. Мучные кондитерские изделия. По данным на 22.02.2022 г. М.: ФГБУ «АГРОЭКСПОРТ», 2022. 27 с.

2. Забегаева И. Обзор рынка мучных кондитерских изделий РФ. 16.10.2023. Отраслевой портал Unipack.RU. Эл. ресурс. Режим доступа: http://www.step-by-step.ru/publications/unipack%20MKI%202023.pdf?ysclid=lx4kzmzqst232472506.

3. Анализ рынка мучных кондитерских изделий в России в 2016-2020 гг, прогноз на 2021-2025 гг. Структура розничной торговли. Оценка влияния коронавируса. М.: BusinesStat, 2020. 24 с.

4. Резниченко И.Ю., Чистяков А.М., Устинова Ю.В., Рубан Н.Ю. Обоснование разработки обогащенных мучных кондитерских изделий // Пищевая промышленность. 2019. №5. С. 56-59. DOI:10.24411/0235-2486-2019-10073.

5. Матюнина А.В. Разработка технологии обогащенного печенья без глютена с применением принципов пищевой комбинаторики: дисс. … канд. техн. наук: 4.3.3. М., 2023. 188 с.

6. Калинкина Н.О., Егорова Е.Ю. Обогащение сдобного печенья белком и пищевыми волокнами // Ползуновский вестник. 2019. №1. С. 17-22. DOI:10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.003.

7. Myrisis G., Aja S., Haros C.M. Substitution of critical Ingredients of cookie products to Increase nutritional value // Biology and Life Sciences Forum. 2022. 17, 15. DOI:10.3390/blsf2022017015.

8. Krajewska A., Dziki D. Enrichment of cookies with fruits and their by-products: chemical composition, antioxidant properties, and sensory changes // Molecules. 2023. V. 28. №10, 4005. DOI:10.3390/molecules28104005.

9. Topka P., Poliński S., Sawicki T., Szydłowska-Czerniak A., Tańska M. Effect of enriching gingerbread cookies with elder (*Sambucus nigra* L.) products on their phenolic composition, antioxidant and anti-glycation properties, and sensory acceptance // International Journal of Molecular Sciences. 2023. V. 24. №2, 1493. DOI:10.3390/ijms24021493.

10. Nemś A., Miedzianka J., Kita A. Quality and nutritional value of cookies enriched with plant-based protein preparations // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2022. V. 102. №11. P. 4629-4639. DOI:10.1002/jsfa.11821.

11. Verde C.L, Pacioles C.T., Paterson N., Chin J., Owens C.P., Senger L.W. Hydrolysis of chlorogenic acid in sunflower flour increases consumer acceptability of sunflower flour cookies by improving cookie color // Journal of Food Science. 2023 V. 88. №8. P. 3538-3550. DOI:10.1111/1750-3841.16692.

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

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

14. Petraru A., Ursachi F., Amariei S. Nutritional Characteristics Assessment of Sunflower Seeds, Oil and Cake. Perspective of Using Sunflower Oilcakes as a Functional Ingredient // Plants. 2021. V. 10. №11: 2487. DOI:10.3390/plants10112487.

15. Wildermuth S.R., Young E.E., Were L.M.. Chlorogenic acid oxidation and its reaction with sunflower proteins to form green-colored complexes // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2016. V. 15. №5. P. 829-843. DOI:10.1111/1541-4337.12213.

Информация об авторах

Т. В. Белоусова – студентка направления подготовки «Продукты питания из растительного сырья» кафедры техноло-

гии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

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

Н. А. Дудкина – главный специалист отдела контроля и аналитики Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. An overview of foreign economic activity. Flour confectionery products. As of 02/22/2022 (2022). *AGRO-EXPORT*. 27 p.

2. Zabegaeva, I. (2023). Overview of the market of flour confectionery products of the Russian Federation. 16.10.2023. *Industry portal Unipack.RU*: http://www.step-by-step.ru/publications/unipack%20MKI%202023.pdf?ysclid=lx4kzmzqst232472506

3. Analysis of the market of flour confectionery products in Russia in 2016-2020, forecast for 2021-2025. The structure of retail trade. Assessment of the impact of coronavirus (2020). *BusinesStat*. 24 s.

4. Reznichenko, I.Yu., Chistyakov, A.M., Ustinova, Yu.V. & Ruban, N.Yu. (2019). Study on the development of enriched flour confectionery products. *Food processing industry*, (5), 56-59. DOI:10.24411/0235-2486-2019-10073.

5. Matyunina, A.V. (2023). Development of technology for enriched gluten-free cookies using the principles of food combinatorics. Diss. ... Cand. of Tech. Sci. Moscow. 188 p.

6. Kalinkina, N.O. & Egorova, E.Yu. (2019). The enrichment butter cookies with protein and dietary fiber. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 17-22. DOI:10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.003.

7. Myrisis, G., Aja, S. & Haros, C.M. (2022). Substitution of critical Ingredients of cookie products to Increase nutritional value. *Biology and Life Sciences Forum*, 17, 15. DOI:10.3390/blsf2022017015.

8. Krajewska, A. & Dziki, D. (2023). Enrichment of cookies with fruits and their by-products: chemical composition, antioxidant properties, and sensory changes. *Molecules*, 28 (10), 4005. DOI:10.3390/molecules28104005.

9. Topka, P., Poliński, S., Sawicki, T., Szydłowska-Czerniak, A. & Tańska, M. (2023). Effect of enriching gingerbread cookies with elder (*Sambucus nigra* L.) products on their phenolic composition, antioxidant and anti-glycation properties, and sensory acceptance. *International Journal of Molecular Sciences*, 24 (2), 1493. DOI:10.3390/ijms24021493.

10. Nemś, A., Miedzianka, J. & Kita, A. (2022). Quality and nutritional value of cookies enriched with plant-based protein preparations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102 (11), 4629-4639. DOI:10.1002/jsfa.11821.

11. Verde, C.L, Pacioles, C.T., Paterson, N., Chin, J., Owens, C.P. & Senger, L.W. (2023). Hydrolysis of chlorogenic acid in sunflower flour increases consumer acceptability of sunflower flour cookies by improving cookie color. *Journal of Food Science,* 88 (8), 3538-3550. DOI:10.1111/1750-3841.16692.

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

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

14. Petraru, A., Ursachi, F. & Amariei, S. (2021). Nutritional Characteristics Assessment of Sunflower Seeds, Oil and Cake. Perspective of Using Sunflower Oilcakes as a Functional Ingredient. *Plants*, 10 (11), 2487. DOI:10.3390/plants10112487.

15. Wildermuth, S.R., Young, E.E. & Were, L.M. (2016). Chlorogenic acid oxidation and its reaction with sunflower proteins to form green-colored complexes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15 (5), 829-843. DOI:10.1111/1541-4337.12213.

Information about the authors

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

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

N. A. Dudkina – is the chief specialist of the control and analytics department, 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 15 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 15 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 82–89.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 82–89.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.012 EDN: GBSFAU

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРА ПИТАНИЯ НА РАЗВИТИЕ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО СИНДРОМА

Людмила Николаевна Буракова [1], Марина Викторовна Николенко [2], Марина Николаевна Школьникова [3], Евгений Дмитриевич Рожнов [4], Даниил Александрович Плотников [4]

[1] Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия, [1]burakovaln@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0001-6135-1507
[2] Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия
[2] novopaschinamv@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1099-0656
[3, 4, 5] Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия
[3] shkolnikova.m.n@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9146-6951
[4] red@bti.secna.ru, https://orcid.org/0000-0002-3982-9700
[5] plotnikovda@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0002-4061-9436

Аннотация. *В представленном исследовании, основанном на обзоре литературы, изучена распространенность метаболического синдрома (МС) и роль питания в формировании данного заболевания. Цель работы заключается в оценка фактора питания на развитие метаболического синдрома. Научные публикации и повседневная клиническая практика свидетельствуют о том, что недостаточно проработаны маркеры индивидуальной предрасположенности человека, оптимизированные диетические рационы для пациентов с метаболическим синдромом. Выделение метаболического синдрома как самостоятельного симптомокомплекса имеет важное клиническое значение, так как при отсутствии своевременной адекватной коррекции его проявлений значительно повышается риск развития сердечно-сосудистой и эндокринной патологии, заболеваний органов пищеварения. Риск развития сахарного диабета 2-го типа у лиц с МС в среднем в 5-9 раз выше, чем при его отсутствии. В лечении МС патогенетически обоснованными являются мероприятия, направленные на нормализацию метаболических нарушений и снижение массы тела. Диета является одним из важнейших звеньев профилактики. Целенаправленное моделирование диеты позволяет снизить или нормализовать уровень глюкозы и липидов в крови, артериальное давление и массу тела у человека. Основное требование к построению рациона при МС - это ограничение его энергетической ценности, при полноценном наборе макро- и микронутриентов, функциональных пищевых продуктов. Оптимизация диеты и сбалансированного питания при МС является наиболее эффективной при учете результатов комплексной оценки пищевого статуса с использованием биохимических показателей липидного, углеводного, белкового обмена, а также гормонального и цитокинового статуса, биоимпедансометрии, непрямой калориметрии.*

Ключевые слова: *заболеваемость, метаболический синдром, питание, сахарный диабет, ожирение, население, пищевые волокна, клетчатка.*

Благодарности: *автор выражает признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования.*

Для цитирования: Влияние фактора питания на развитие метаболического синдрома / Л.Н. Буракова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 82 – 89. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.012, EDN: https://elibrary.ru/GBSFAU.

Original article

INFLUENCE OF NUTRITION FACTOR ON DEVELOPMENT OF METABOLIC SYNDROME

Lyudmila N. Burakova [2], Marina V. Nikolenko [1], Marina N. Shkolnikova [3], Evgeny D. Rozhnov [4], Daniil A. Plotnikov [5]

[1] Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

© Буракова Л. Н., Николенко М. В., Школьникова М. Н., Рожнов Е. Д., Плотников Д. А., 2024

[1] burakovaln@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0001-6135-1507
[2] Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia
[2] novopaschinamv@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1099-0656
[3, 4, 5] Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia
[3] shkolnikova.m.n@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9146-6951
[4] red@bti.secna.ru, https://orcid.org/0000-0002-3982-9700
[5] plotnikovda@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0002-4061-9436

Abstract. *In the presented study, based on a literature review, the prevalence of metabolic syndrome (MS) and the role of nutrition in the formation of this disease were studied. The aim of the work is to assess the nutritional factor for the development of metabolic syndrome. Scientific publications and daily clinical practice indicate that markers of individual predisposition of a person, optimized dietary diets for patients with metabolic syndrome are not sufficiently developed. The isolation of metabolic syndrome as an independent symptom complex is of great clinical importance, since in the absence of timely adequate correction of its manifestations, the risk of developing cardiovascular and endocrine pathology, diseases of the digestive system significantly increases. The risk of developing type 2 diabetes in people with MS is on average 5-9 times higher than in its absence. In the isolation of metabolic syndrome as an independent symptom complex is of great clinical importance, since in the absence of timely adequate correction of its manifestations, the risk of developing cardiovascular and endocrine pathology, diseases of the digestive system significantly increases. The risk of developing type 2 diabetes in people with MS is on average 5-9 times higher than in its absence. In the treatment of MS, pathogenetically justified measures are aimed at normalizing metabolic disorders and reducing body weight. Diet is one of the most important links of prevention. Targeted modeling of the diet allows you to reduce or normalize the level of glucose and lipids in the blood, blood pressure and body weight in humans. The main requirement for the construction of a diet with MS is the restriction of its energy value, with a full set of macro- and micronutrients, functional foods. Optimization of diet and balanced nutrition in MS is the most effective when taking into account the results of a comprehensive assessment of nutritional status using biochemical indicators of lipid, carbohydrate, protein metabolism, as well as hormonal and cytokine status, bioimpedance, indirect calorimetry.*

Keywords: *morbidity, metabolic syndrome, nutrition, diabetes mellitus, obesity, population, dietary fiber, fiber.*

Acknowledgements*: the author expresses gratitude to his / her colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.*

For citation: Burakova, L. N., Nikolenko, M. V., Shkolnikova, M. N., Rozhnov, E. D. & Plotnikov, D. A. (2024). Influence of nutrition factor on development of metabolic syndrome. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 82-89. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.012. EDN: https://elibrary.ru/GBSFAU.

ВВЕДЕНИЕ

Метаболический синдромом (МС) представляет собой патологическое состояние, которое характеризуется резистентностью к инсулину, гипертонией, абдоминальным ожирением и является одной из главных опасностей для здоровья населения [1, 2, 3, 4, 5].

МС относится к группе метаболических нарушений, приводящих к риску развития сердечно-сосудистых патологий и сахарного диабета 2 типа [6].

Согласно современным интегральным исследованиям на формирование метаболического синдрома влияют генетические, физиологические и социально-экономические факторы [7].

Проведенный метаанализ данных показал, что МС и связанные с ним компоненты имеют широкое распространение в мире, а распространенность увеличивается вместе с уровнем дохода страны [8].

По степени этиологической обусловленности и управляемости существенно значимыми являются рацион и режим питания, в частности:

- дефицит или избыток питательных веществ;

- негативное влияние на организм человека консервантов, используемых для увеличения сроков хранения продукции, и их взаимодействие с ферментами пищеварительного тракта;

- Ca^{2+}, белок и жир молочных продуктах, которые оказывают влияние на артериальное давление, липидный профиль, уровень холестерина в крови [1].

Стоит также отметить важную роль влияния витаминов на развитие МС, схема которого представлена на рисунке 1 [9].

Особое внимание уделяется определению наиболее восприимчивых групп населения, так как МС встречается как у городского, так и у сельского населения.

Заболеваемость городского населения обусловлена особенностями питания, так как рацион, как правило, включает продукты питания с высокой калорийностью и низким содержанием клетчатки и грубых волокон.

При этом, сельское население среди сельского населения также наблюдается распространенность МС.

Полученные данные, основанные на изучении 38 208 человек, проживающих в провин-

ции Хэнянь, в возрасте от 18 до 79 лет, позволили сделать вывод о том, что взрослое сельское население является подверженной к рассматриваемой заболеваемости, в особенности, пожилые женщины, не соблюдающие здоровый образ жизни [10].

Рассматриваемые факторы указывают на значительное влияние питания на развития МС, что обосновывает цель проведения работы – оценка фактора питания на развитие метаболического синдрома.

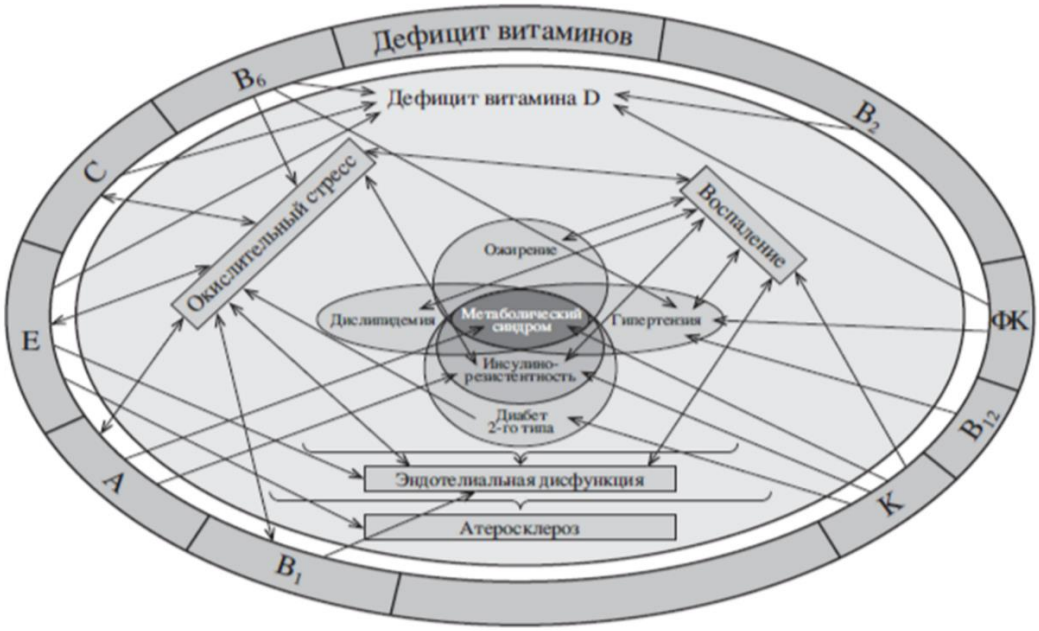


Рисунок 1 – Влияние витаминов на развитие метаболического синдрома
Figure 1 - The effect of vitamins on the development of metabolic syndrome

МЕТОДЫ

В данной статье представлены результаты теоретических исследований, полученных общепринятыми аналитическими методами: анализ, индукция, систематизация и обобщение.

Информационный поиск проводился в базах данных SciencsDirect, PubMed, Google scholar, eLIBRARY и, в частности, медицинских журналах «Ожирение и метаболизм», «Сахарный диабет» и др. Анализ включал в себя изучение научных статей за последние 14 лет, включающие такие ключевые слова как МС, диабет, ожирение.

ОБСУЖДЕНИЕ

Метаболический синдром. В основе этиологии МС лежит ожирение, недостаточная физическая активность, генетическая предрасположенность, курение и употребление алкоголя. Влияние МС на организм заключается в накоплении жировой ткани и дисфункции тканей, что приводит к инсулинорезистентности [4, 11,12,13, 14].

Исследования доказывают, что развитие МС напрямую коррелирует с сахарном диабетом и ожирением. В 2015 году распространенность ожирения среди взрослого населения составляла 604 млн., в 2016 году данный показатель составил 650 млн., что говорит о возрастании данной проблематики [6].

К основным заболеваниям и изменениям метаболизма, к которым приводит рассматриваемый синдром, относят ишемическую болезнь сердца, инсульт, диабет второго типа, ожирение, артериальную гипертонию, увеличение риска развития неинфекционных заболеваний (НИЗ) [15,16,17].

Главными предпосылками исследования распространенности МС среди взрослого населения в Азиатско-Тихоокеанском регионе послужил стремительный рост распространенности таких заболеваний ка ожирение, диабета 2 типа и сердечно-сосудистые среди населения данного региона. Результаты показали, что самый низкий уровень распространенности МС наблюдались в 2003 году на Филиппинах и составили 11,9%, а самая высокая статистика была зарегистрирована по итогам исследования в городах Пакистана в 2004 году и составила 49% [18].

Было установлено, что среди населения большинства стран Азиатско-Тихоокеанского региона практически 1/5 населения страдает МС и данный показатель постоянно увеличивается [6].

Распространенность МС в значительной степени зависит от пола, возраста, социального статуса и этнического происхождения. Клинические исследования показали, что начало МС происходит от ожирения, так как за последние 30 лет наблюдается прямая зависимость [19, 20].

Ожирение. Ожирение представляет собой

«ненормальное или чрезмерное скопление жира, которое может негативно повлиять на здоровье», основной причиной которого является нарушение энергетического баланса между поступающей и расходуемой энергией за счет несбалансированности питания, малоподвижный образ жизни, стрессовых нагрузок [21, 22, 23].

Исследования, направленные на определение распространенности ожирения, МС и сахарного диабета показали, что заболеваемость ожирением/избыточным весом у взрослого населения США увеличилась с 133,9 млн. человек в 2003-2004 гг. до 160,1 млн. в 2013-2014 гг [24].

В 2018 году 40,1% (45,8 млн.) россиян имели проблему избыточной массы тела и 21,6% страдали ожирением (24,5 млн.) [25].

Данные по количеству человек с ожирение, состоящих на учете у врача представлены на рисунке 2 [26, 27].

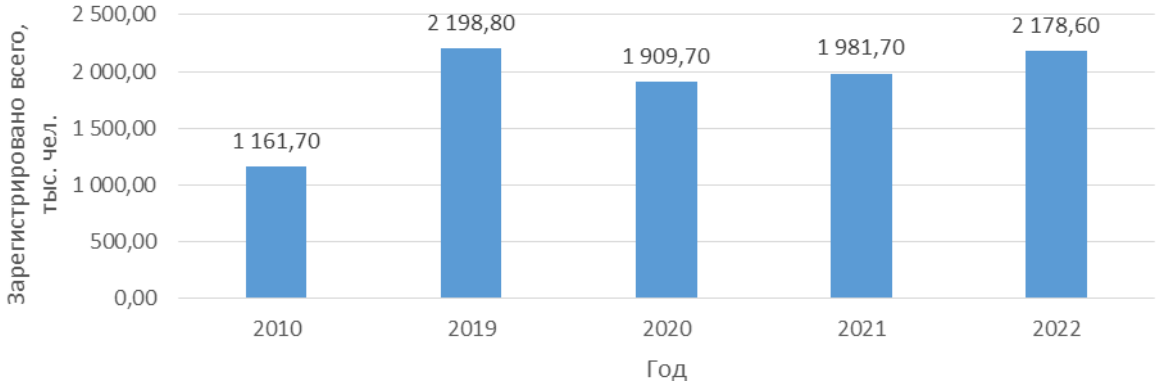


Рисунок 2 – Количество человек с ожирением, наблюдающиеся у врача, 2010-2022 гг.

Figure 2 - Number of obese people seen by a doctor, 2010-2022

Пищевое поведение представляет собой комплекс реакций организма, направленный на поиск, выбор и потребление пищи для запаса энергии, психологического удовольствия и «строительного» материла организма. Наиболее встречаемые нарушения в пищевом поведении преобладает эмоциогенный и экстернальный тип, характеризующиеся реакцией на стрессовые состояния и внешние стимулы (вид, запах) соответственно [28].

Стрессовые ситуации, депрессивные расстройства и тревожность способствуют возникновению пищевой зависимости и повышению уровня кортизола. В свою очередь происходит накопление висцеральных жировых отложений. Микрофлора кишечника регулирует синтез холестерина и триглицеридов, окисление жирных кислот, аккумулирование некоторыми представителями большого количества энергии из пищи, поглощение глюкозы, выработка инсулина приводят к ожирению [29].

Важную роль в формировании инсулинорезистентности играет висцеральная жировая ткань, так как абдоминальный жир синтезирует провоспалительные цикотины и гормоны, которые участвуют в формировании резистентности – адипокины [30].

Сахарный диабет. Сахарный диабет представляет собой заболевание, которое характеризуется неадекватно повышенным уровнем глюкозы, основными подтипами которого является 1 (СД1) и 2 (СД2) [31]. Среди значимых причин развития сахарного диабета выделяют наследственность, ожирение, вирусные инфекции, стресс, возраст и ряд заболеваний, например, болезни внутренней секреции, панкреатит и другие [32].

Данные показывают, что в период с 1980 года по 2014 год количество населения, страдающего сахарным диабетом, увеличилось с 108 до 422 млн. человек. [33].

Было установлено, что в 2015 году количество случаев заболевания диабетом у населения в возрасте от 20 до 79 лет составило 415 млн., 75% из которых проживали преимущественно в странах с низким или средним уровнем дохода. Согласно прогнозу, к 2040 году количество случаев заболевания должно возрасти до 642 млн.чел. [34].

Проведенные исследования показали, что в 2021 году количество людей с сахарным диабетом в мире достигло 537 млн. (в возрасте 20-79 лет), что опережает предыдущие прогнозируемые данные. Было установлено, что к 2030 году данный показатель составит 643 млн., а к 2045 году количество пациентов с сахарным диабетом увеличиться до 783 млн [35, 36].

В Российской Федерации также наблюдается увеличение пациентов с сахарным диабетом. По данным статистики, в 2021 году на учете у врачей состоит 5 млн. 168,8 тыс. человек, в 2022 году данный показатель составил 5 млн. 277,6 тыс. человек. Статистика человек с сахарным диабетом, наблюдающиеся у врача, в период с 2010 по 2022 год представлена на рисунке 3. [26, 27, 35].

Среди основных методов в профилактике сахарного диабета выделяют диетотерапию, позволяющую достигнуть индивидуальных значений гликированного гемоглобина [37].

Среди продуктов питания, которые рекомендуется употреблять, выделяют овощи, фрукты, зерновые бобовые и молочные продукты. Доказана важность в профилактике сахарного диабета моно- и полиненасыщенных жирных кислот. При этом ограничиваются в потреблении насыщенные жирные кислоты, трансизомеры жирных кислот, сахар и натрий. Стоит отметить важное значение витаминов-антиоксидантов, таких как A, E, C и b-каротин, поэтому перспективным направлением является разработка специализированных продуктов питания, содержащие перечисленные нутриенты [38].

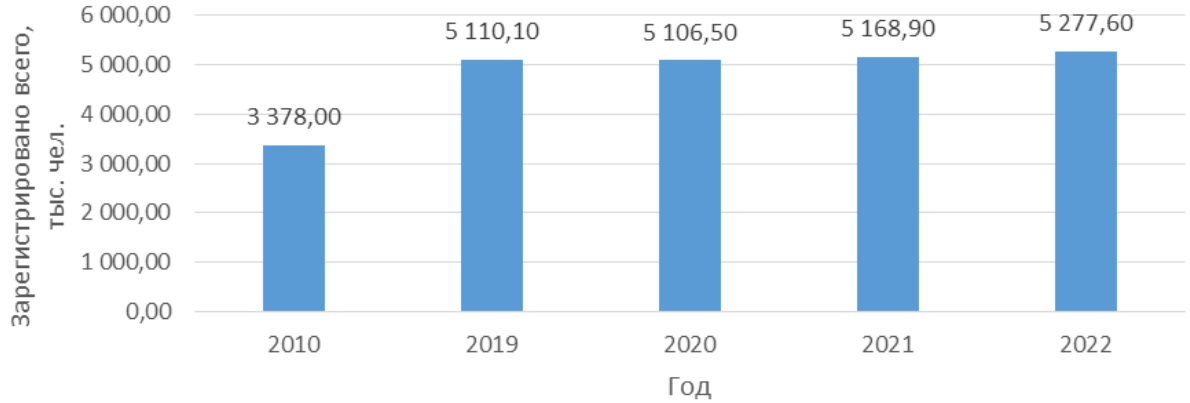


Рисунок 3 – Количество человек с сахарным диабетом, наблюдающиеся у врача, 2010-2022 гг.

Figure 3 - Number of people with diabetes seen by a doctor, 2010-2022

Способы профилактики ожирения и сахарного диабета. Особенное влияние на формирование здоровья и профилактику заболеваемости влияет характер питания, поэтому перспективным направлением является использование в рационах питания продукции функционального назначения. Например, одним из таких направлений является Food for Specified Health Use (FOSHU), то есть такой пищевой продукт, у которого был изучен функциональный компонент, подтверждена функция биологической регуляции и разрешен в использовании Министерством здравоохранения [39].

Поддержание контроля массы тела является одним из способов профилактики МС. Употребление продуктов с большим содержанием клетчатки и низкой концентрацией жиров оказывает положительное влияние при снижении индекса массы тела [1].

Особую роль в профилактике ожирения и нарушения метаболического обмена оказывает употребление продуктов из зернового сырья грубого помола, богатых пищевыми волокнами [40].

Доказана зависимость состояния иммунной системы от МС. Проведенные исследования особенностей иммунного статуса у больных с метаболическим синдромом показали, что влияние МС происходит путем угнетения Т-клеточного звена иммунной системы. В 88,5% случаев было установлено повышение иммуноглобулина Ig G при проведении внутригруппового анализа гуморального звена иммунной системы. Данный фактор косвенно свидетельствует о наличии аутоиммунного синдрома [41].

Активация дисфункции лейкоцитов в метаболических тканях (жировая ткань, печень, поджелудочная железа) свидетельствует о том, что клетки иммунной системы оказывают значительное влияние в патогенезе хронических заболеваний, которые связаны с МС и ожирением.

Данные нарушения оказывают непосредственное влияние на целостность лимфоидных тканей распределение фенотипов и субпопуляции лейкоцитов, что в свою очередь оказывает влияние на развитие хронических заболеваний и иммунитет [42].

Установлено, что у пациентов с МС противоспалительная среда способствует опосредованной COVID-19 ухудшению иммунной системы, включающее гипервоспаление, тромбоз и микрососудистую дисфункцию [43].

Особое внимание уделяется нутрицевтическим соединениям, которые можно использовать в качестве добавок, например, полифенолы, омега-3 жирные кислоты, макроэлементы и витамины. Использование в рационе питание натуральных продуктов способно оказывать профилактическое воздействие на МС и непереносимость статинов, используемых для снижения холестерина.

Использование пищевых добавок в профилактике метаболического синдрома приводит к стабилизации кровяного давления, уровня глюкозы в крови и липидов. Так, содержащиеся в ягодах черники инулин, полифенолы и антоцианы оказывают положительное влияние на снижение концентрации в плазме крови пептидного гормона грелина и улучшают перенос глюкозы в крови [44].

Микробиота кишечника является одним из ключевых факторов, влияющих на формирование МС и компонентов. Было доказано, что употребление в рационе питания фруктов и овощей оказывает положительное влияние на формирование

микробиоты кишечника за счет поступающих полифенольных соединений. Помимо этого, особую роль играют про-/ пребиотики и синбиотики. В частности, употребление продуктов, которые содержат Akkermansiia muciniphila способны оказывать положительное влияние на ожирение [45].

Корректировка рациона питания, разработки популяционных программ для профилактики ожирения, использование диет, улучшение качества продуктов питания, регулярные физические нагрузки можно охарактеризовать как одними из эффективных способов профилактики МС и связанных компонентов [5, 46, 47, 48].

Диетотерапия – одна из концепций профилактики МС. Например, средиземноморская диета (MedDiet), рекомендации которой заключаются в употреблении большого количества продуктов растительного происхождения, цельнозерновых продуктов, ежедневное употребление молочных и еженедельное потребление рыбных и мясных. Данный рацион богат витаминами-антиоксидантами, пищевыми волокнами, ПНЖК и НЖК. Строгое соблюдение рассматриваемой диеты позволяет снизить артериальное давление, улучшить липидный профиль и метаболизм глюкозы [49].

Доказано, что бобовые продукты являются низкокалорийными и богатыми питательными веществами пища с низким гликемическим индексом оказывают положительное влияние на гликемический контроль и ожирение, поэтому частое употребление их в контексте средиземноморской диеты у пожилых людей способно оказать профилактический эффект диабета 2 типа [50].

ВЫВОД

По результатам проведенного анализа научных источников можно сделать вывод, что изучение метаболического синдрома остается актуальным направлением исследований российских и зарубежных ученых.

Установлено, что основными факторами, которые отвечают за развитие метаболического синдрома являются: генетическая предрасположенность, гиподинамия, гормональный дисбаланс у женщин репродуктивного возраста, андрогенный дефицит у мужчин и избыточное питание. Авторы придерживаются мнения, что именно корректировка питания, в том числе, персонификация пищевых рационов, способны снизить развитие метаболического синдрома и сопутствующих заболеваний.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку функционального пищевого продукта, имеющего в своем составе необходимые нутриенты для оказания профилактического эффекта на метаболический синдром.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патракеева В.П., Штаборов В.А. Роль питания и состояния микрофлоры кишечника в формировании метаболического синдрома\\ Ожирение и метаболизм. 2022;19(3). С. 292-299. https://doi.org/10.14341/omet12893.

2. Moore JX, Chaudhary N, Akinyemiju T. Metabolic Syndrome Prevalence by Race/Ethnicity and Sex in the United States, National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-2012. Prev Chronic Dis. 2017 Mar 16;14:E24. doi: 10.5888/pcd14.160287.

3. do Vale Moreira NC, Hussain A, Bhowmik B, Mdala I, Siddiquee T, Fernandes VO, Montenegro Júnior RM, Meyer HE. Prevalence of Metabolic Syndrome by different definitions, and its association with type 2 diabetes, pre-diabetes, and cardiovascular disease risk in Brazil. Diabetes Metab Syndr. 2020 Sep-Oct;14(5):1217-1224. doi: 10.1016/j.dsx.2020.05.043.

4. Hernández-Rubio, A., Sanvisens, A., Bolao, F. et al. Prevalence and associations of metabolic syndrome in patients with alcohol use disorder. Sci Rep 12, 2625 (2022). https://doi.org/10.1038/s41598-022-06010-3

5. Brandão AD, da Silva JH, Mariane Oliveira Lima S, Lima L, Loize B, de Castro AAM, Kümpel C, Porto EF. Short and long term effect of treatment non-pharmacological and lifestyle in patients with metabolic syndrome. Diabetol Metab Syndr. 2020 Feb 14;12:16. doi: 10.1186/s13098-020-0522-y.

6. Распространенность и биомаркеры метаболического синдрома/ О.Ю. Кытикова[и др.]. // Ожирение и метаболизм. 2021;18(3). С. 302-312. https://doi.org/10.14341/omet12704.

7. Бокова Т.А. Метаболический синдром у детей: особенности формирования и клинического течения, подходы к диагностике, профилактике и лечению: автореф. дисс.… д-ра. мед. наук. Москва, 2014, 48 с.

8. Noubiap JJ, Nansseu JR, Lontchi-Yimagou E, Nkeck JR, Nyaga UF, Ngouo AT, Tounouga DN, Tianyi FL, Foka AJ, Ndoadoumgue AL, Bigna JJ. Geographic distribution of metabolic syndrome and its components in the general adult population: A meta-analysis of global data from 28 million individuals. Diabetes Res Clin Pract. 2022 Jun;188:109924. doi: 10.1016/j.diabres.2022.109924.

9. Коденцова В.М., Рисник Д.В., Шарафетдинов Х.Х., Никитюк Д.Б. Витамины в питании пациентов с метаболическим синдромом // Терапевтический архив. 2019. Т. 91. №2. С. 118-125. doi: 10.26442/00403660.2019.02.000097

10. Associations of unhealthy lifestyles with metabolic syndrome in Chinese rural aged females .. Wang Y, Tu R, Yuan H, Shen L, Hou J, Liu X, Niu M, Zhai Z, Pan M, Wang C. Sci Rep. 2020 Feb 17;10(1):2718. doi: 10.1038/s41598-020-59607-x.

11. Swarup S, Goyal A, Grigorova Y, et al. Metabolic Syndrome. [Updated 2022 Oct 24]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459248/

12. Catharina AS, Modolo R, Ritter AMV, Sabbatini AR, Lopes HF, Moreno Junior H, Faria AP. Metabolic Syndrome-Related Features in Controlled and Resistant Hypertensive Subjects. Arq Bras Cardiol. 2018 Jun;110(6):514-521. doi: 10.5935/abc.20180076.

13. Cozma, A., Sitar-Taut, A., Orăşan, O., Leucuta, D., Alexescu, T., Stan, A., Negrean, V., Sampelean, D., Pop, D., Zdrenghea, D., Vulturar, R., & Fodor, A. (2018). Determining Factors of Arterial Stiffness in Subjects with Metabolic Syndrome. Metabolic syndrome and related disorders, 16(9), 490–496.

https://doi.org/10.1089/met.2018.0057

14. Yao, F.; Bo, Y.; Zhao, L.; Li, Y.; Ju, L.; Fang, H.; Piao, W.; Yu, D.; Lao, X. Prevalence and Influencing Factors of Metabolic Syndrome among Adults in China from 2015 to 2017. Nutrients 2021, 13, 4475. https://doi.org/10.3390/nu13124475.

15. Saklayen, M.G. The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome // Curr Hypertens Rep 20, 12 (2018). https://doi.org/10.1007/s11906-018-0812-z.

16. Богданова О.Г., Мыльникова И.В. Метаболический синдром: ситуация в мире, клинико-диагностические критерии и факторы риска (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2020; 99 (10) С. 1165-1169. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1165-1169.

17. Гриневич В. Б., Радченко В. Г. Микробиота кишечника и метаболический синдром// Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2020;183(11). С. 11–19. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-183-11-11-19.

18. Prevalence and trends of metabolic syndrome among adults in the asia-pacific region: a systematic review // Ranasinghe P, Mathangasinghe Y, Jayawardena R, Hills AP, Misra A.. BMC Public Health. 2017 Jan 21;17(1):101. doi: 10.1186/s12889-017-4041-1.

19. Wang HH, Lee DK, Liu M, Portincasa P, Wang DQ. Novel Insights into the Pathogenesis and Management of the Metabolic Syndrome. Pediatr Gastroenterol Hepatol Nutr. 2020 May;23(3):189-230. doi: 10.5223/pghn.2020.23.3.189.

20. Sigit, F.S., Tahapary, D.L., Trompet, S. et al. The prevalence of metabolic syndrome and its association with body fat distribution in middle-aged individuals from Indonesia and the Netherlands: a cross-sectional analysis of two population-based studies. Diabetol Metab Syndr 12, 2 (2020). https://doi.org/10.1186/s13098-019-0503-1.

21. Разина А.О., Ачкасов Е.Е., Руненко С.Д. Ожирение: современный взгляд на проблему. Ожирение и метаболизм. 2016;13(1):3-8. https://doi.org/10.14341/omet201613-8.

22. Лескова И.В., Ершова Е.В., Никитина Е.А., Красниковский В.Я., Ершова Ю.А., Адамская Л.В. Ожирение в России: современный взгляд под углом социальных проблем. Ожирение и метаболизм. 2019;16(1):20-26. https://doi.org/10.14341/omet9988

23. Лескова И.В., Ермаков Д.Н., Матушевская Е.Г., Нишнианидзе О.О. Социально-медицинские аспекты нормализации массы тела. Ожирение и метаболизм. 2016;13(4):49-52.

24. Palmer, M.K. and Toth, P.P. (2019), Trends in Lipids, Obesity, Metabolic Syndrome, and Diabetes Mellitus in the United States: An NHANES Analysis (2003-2004 to 2013-2014). Obesity, 27: 309-314. https://doi.org/10.1002/oby.22370

25. Сколько россиян страдает от ожирения и чем лишний вес опасен для здоровья. – URL : https://journal.tinkoff.ru/stat-oh-my-weight/ (дата обращения: 01.09.2023).

26. Здравоохранение в России. 2021: Стат.сб./Росстат. - М., 2021. – 171 с.

27. Здравоохранение в России. 2023: Стат.сб./Росстат. - М., 2023. – 179 с.

28. От индивидуальных особенностей пищевого поведения и хронотипа к формированию абдоминального ожирения / Л. В. Квиткова, С. А. Смакотина, Ю. М. Сотникова, С. Ф. Зинчук // Эндокринология. Новости. Мнения. Обучение. – 2019. – Т. 8, № 3(28). – С. 22-29. – DOI 10.24411/2304-9529-2019-13002.

29. Амлаев К.Р., Блинкова Л.Н., Дахкильгова Х.Т. Ожирение: современный взгляд на проблему // Врач. 2020; 31 (3): 3–10. https://doi.org/10.29296/25877305-2020-03-01

30. Вербовой А.Ф., Вербовая Н.И., Долгих Ю.А. Ожирение — основа метаболического синдрома. Ожирение и метаболизм. 2021;18(2):142-149. https://doi.org/10.14341/omet12707

31. Михлиев, Ш. Ш., А. У. у. Сафарав, А. Х. у. Аминов, and Н. С. Курбанова. “Сахарный диабет”. Science and Education, vol. 4, no. 5, June 2023, pp. 544-5, https://openscience.uz/index.php/sciedu/article/view/5755.

32. Эпидемиология сахарного диабета / Г. У. Нурдинова, Г. С. Авезова, Д. Б. Бердиева, Г. Ф. Шеркузиева // International Scientific Review. – 2016. – № 7(17). – С. 93-95.

33. Всемирная организация здравоохранения: официальный сайт. –URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/diabetes (дата обращения: 01.09.2023).

34. IDF Diabetes Atlas: Global estimates for the prevalence of diabetes for 2015 and 2040 // Ogurtsova K, da Rocha Fernandes JD, Huang Y, Linnenkamp U, Guariguata L, Cho NH, Cavan D, Shaw JE, Makaroff LE. Diabetes Res Clin Pract. 2017 Jun;128:40-50. doi: 10.1016/j.diabres.2017.03.024. Epub 2017 Mar 31. PMID: 28437734.

35. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К., Железнякова А.В., Исаков М.А., Сазонова Д.В., Мокрышева Н.Г. Сахарный диабет в Российской Федерации: динамика эпидемиологических показателей по данным Федерального регистра сахарного диабета за период 2010 – 2022 гг. Сахарный диабет. 2023;26(2):104-123. https://doi.org/10.14341/DM13035

36. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 10th edn. Brussels, Belgium; 2021 [cited 21.01.2024]. Available from: https://www.diabetesatlas.org.

37. Евсеев, А. Б. Лечебное питание при сахарном диабете 2-го типа / А. Б. Евсеев // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5, № 10. С. 77-83. DOI 10.33619/2414-2948/47/11.

38. Оксидативный стресс и повышение антиоксидантной защиты при сахарном диабете 2-го типа / Х. Х. Шарафетдинов, О. А. Плотникова, В. В. Пилипенко, Д. Б. Никитюк // Клиническое питание и метаболизм. 2020. Т. 1, № 3. С. 127-136. DOI 10.17816/clinutr50340.

39. UenishiK. [Nutritionandbonehealth. Food for specified health use (FOSHU) and bone health]. Clin Calcium. 2010 Jan;20(1):116-20. Japanese. PMID: 20048444.

40. Кунцевич А. К. Риск метаболического синдрома и питание населения // Ожирение и метаболизм. 2015. Т. 12, № 1. С. 3-10. DOI 10.14341/OMET201513-10.

41. Танченко О.А., Нарышкина С.В.,Решетникова Л.К. Особенности иммунного статуса у больных с метаболическим синдромом// Дальневосточный медицинский журнал. – 2014; С. 20-23.

42. Catherine J Andersen, Kelsey E Murphy, Maria Luz Fernandez, Impact of Obesity and Metabolic Syndrome on Immunity, Advances in Nutrition, Volume 7, Issue 1, January 2016, Pages 66–75, https://doi.org/10.3945/an.115.010207.

43. Rashika Bansal, Sriram Gubbi, Ranganath Muniyappa, Metabolic Syndrome and COVID 19: Endocrine-Immune-Vascular Interactions Shapes Clinical Course, Endocrinology, Volume 161, Issue 10, October 2020,

bqaa112, https://doi.org/10.1210/endocr/bqaa112.

44. Patti AM, Al-Rasadi K, Giglio RV, Nikolic D, Mannina C, Castellino G, Chianetta R, Banach M, Cicero AFG, Lippi G, Montalto G, Rizzo M, Toth PP. Natural approaches in metabolic syndrome management. Arch Med Sci. 2018 Mar;14(2):422-441. doi: 10.5114/aoms.2017.68717. Epub 2017 Jul 19. PMID: 29593818; PMCID: PMC5868676.

45. Corb Aron, R.A.; Abid, A.; Vesa, C.M.; Nechifor, A.C.; Behl, T.; Ghitea, T.C.; Munteanu, M.A.; Fratila, O.; Andronie-Cioara, F.L.; Toma, M.M.; et al. Recognizing the Benefits of Pre-/Probiotics in Metabolic Syndrome and Type 2 Diabetes Mellitus Considering the Influence of Akkermansia muciniphila as a Key Gut Bacterium. Microorganisms 2021, 9, 618. https://doi.org/10.3390/microorganisms9030618.

46. Castro-Barquero, S.; Ruiz-León, A.M.; Sierra-Pérez, M.; Estruch, R.; Casas, R. Dietary Strategies for Metabolic Syndrome: A Comprehensive Review. Nutrients 2020, 12, 2983. https://doi.org/10.3390/nu12102983

47. Метаболический синдром. Учебное пособие / Ю.П. Успенский, Ю.В. Петренко, З.Х. Гулунов, Н.Л. Шапорова, Ю.А. Фоминых, Р.М. Ниязов. СПб., 2017. 60 с.

48. Карамнова Н.С., Шальнова С.А., Рытова А.И., Швабская О.Б., Макарова Ю.К., Баланова Ю.А., Евстифеева С.Е., Имаева А.Э., Капустина А.В., Муромцева Г.А., Максимов С.А., Яровая Е.Б., Драпкина О.М. Ассоциации характера питания и абдоминального ожирения во взрослой популяции. Результаты российского эпидемиологического исследования ЭССЕ-РФ. Российский кардиологический журнал. 2021;26(5):4363. https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4363.

49. Cubas-Basterrechea, G.; Elío, I.; Alonso, G.; Otero, L.; Gutiérrez-Bardeci, L.; Puente, J.; Muñoz-Cacho, P. Adherence to the Mediterranean Diet Is Inversely Associated with the Prevalence of Metabolic Syndrome in Older People from the North of Spain. Nutrients 2022, 14, 4536. https://doi.org/10.3390/nu14214536.

50. Julibert, A.; Bibiloni, M.d.M.; Bouzas, C.; Martínez-González, M.Á.; Salas-Salvadó, J.; Corella, D.; Zomeño, M.D.; Romaguera, D.; Vioque, J.; Alonso-Gómez, Á.M.; et al. Total and Subtypes of Dietary Fat Intake and Its Association with Components of the Metabolic Syndrome in a Mediterranean Population at High Cardiovascular Risk. Nutrients 2019, 11, 1493. https://doi.org/10.3390/nu11071493.

Информация об авторах

Л. Н. Буракова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Общая и физическая химия» Тюменского индустриального университета.

М. В. Николенко – доктор биологических наук, профессор кафедры «Микробиологии», заведующая лабораторией микробиома, регенеративной медицины и клеточных технологий Тюменского государственного медицинского университета.

М. Н. Школьникова - доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии питания» Уральского государственного экономического университета.

Е. Д. Рожнов – доктор технических наук, профессор кафедры «Биотехнологии и инженерии» Уральского государственного экономического университета.

Д. А. Плотников – аспирант кафедры «Технологии питания» Уральского государственного экономического университета.

Information about the authors

L. N. Burakova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General and Physical Chemistry of the Industrial University of Tyumen.

M.V. Nikolenko – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Microbiology, Head of the Laboratory of Microbiome, Regenerative Medicine and Cell Technologies of Tyumen State Medical University.

M. N. Shkolnikova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department Nutrition Technology of the Ural State University of Economics.

E. D. Rozhnov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department Biotechnology and engineering of the Ural State University of Economics.

D. A. Plotnikov, Postgraduate Student of the Department Nutrition Technology 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 06 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 06 Feb 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 90–94.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 90–94.

CC BY

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.04
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.013
EDN: CUEJSM

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СЫРЬЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ УПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ МЕТАБОЛИЧЕСКОМ СИНДРОМЕ

Дмитрий Борисович Никитюк [1], Елена Михайловна Щетинина [2], Инна Юрьевна Тармаева [3]

[1, 2, 3] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, г. Москва, Россия

[1] dimitrynik@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2259-1222
[2] schetinina2014@bk.ru, http://orcid.org/0000-0002-3463-9502
[3] tarmaeva@ion.ru, http://orcid.org/0000-0001-7791-1222

***Аннотация**: Во всем мире, одной из основных проблем является рост числа людей с метаболическим синдромом. Данное заболевание не имеет возраста и все чаще отмечается у молодежи, вследствие чего, можно сделать вывод о необходимости комплексного подхода к поиску решения такой крупной медико-социальной проблемы. Метаболический синдром напрямую связан с ожирением и увеличением массы висцерального жира. Лечение избыточной массы тела достигается не медикаментозными методами и включает в себя комплекс мероприятий: подбор рационального специализированного питания и увеличение двигательной активности пациента. Согласно рекомендациям ВОЗ широкое распространение получила система питания с сниженной калорийностью, причем источниками жиров рекомендованы продукты животного происхождения: молоко, кисломолочные продукты, творог, нежирные сорта рыбы и мяса. Вариант питания с пониженным содержанием жиров легче переносится пациентами, не приводит к росту аппетита и способствует формированию правильных пищевых привычек. С учетом вышеизложенного, можно сделать вывод, что создание специализированных молочных продуктов с заданными свойствами для питания людей с метаболическим синдромом становится сегодня как никогда актуальной.*

В статье представлены результаты исследований по выбору сырьевой основы для производства специализированной молочной продукции для употребления при метаболическом синдроме. Дана оценка возможности использования молока разных видов сельскохозяйственных животных, жидкого и сухого вторичного молочного сырья при производстве данной группы продуктов.

***Ключевые слова**: метаболический синдром, ожирение, специализированные пищевые продукты, молоко разных видов сельскохозяйственных животных, вторичное молочное сырье, сухое молочное сырье.*

Для цитирования: Никитюк Д. Б., Щетинина Е. М., Тармаева И. Ю. Обоснование выбора сырья для разработки и производства специализированных продуктов для употребления при метаболическом синдроме // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 90 – 94. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.013, EDN: https://elibrary.ru/CUEJSM.

Original article

RATIONALE FOR CHOICE OF RAW MATERIALS FOR DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF SPECIALIZED PRODUCTS FOR CONSUMPTION IN METABOLIC SYNDROME

Dmitry B. Nikityuk [1], Elena M. Schetinina [2], Inna Yu. Tarmaeva [3]

[1,2,3] Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia
[1] dimitrynik@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2259-1222
[2] schetinina2014@bk.ru, http://orcid.org/0000-0002-3463-9502
[3] tarmaeva@ion.ru, http://orcid.org/0000-0001-7791-1222

© Никитюк Д. Б., Щетинина Е. М., Тармаева И. Ю., 2024

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СЫРЬЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ УПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ МЕТАБОЛИЧЕСКОМ СИНДРОМЕ

Abstract. *Worldwide, one of the main problems is the increasing number of people with metabolic syndrome. This disease has no age and is increasingly seen in young people. As a result, it is necessary to conclude that an integrated approach is needed to find a solution to such a major medical and social problem. Metabolic syndrome is directly associated with obesity and increased vesceral fat mass. Treatment of excess body weight is achieved using non-medicinal methods and includes a set of measures: selection of rational specialized nutrition and increasing the patient's physical activity. According to WHO recommendations, a nutritional system with reduced calorie content has become widespread, and animal products are recommended as sources of fat: milk, fermented milk products, cottage cheese, low-fat fish and meat. A low-fat diet is more easily tolerated by patients, does not lead to an increase in appetite and promotes the formation of correct eating habits. Taking into account the above, we can conclude that the creation of specialized dairy products with specified properties for feeding people with metabolic syndrome is becoming more relevant today than ever.*

The article presents the results of research on the selection of raw materials as the basis for the production of specialized dairy products for use in metabolic syndrome. An assessment is made of the possibility of using milk from different types of farm animals, liquid and dry secondary milk raw materials in the production of this group of products.

Keywords: *metabolic syndrome, obesity, specialized food products, milk of different types of farm animals, secondary milk raw materials, dry milk raw materials.*

For citation: Nikityuk, D. B, Shchetinina, E. M. & Tarmaeva, I. Yu. (2024). Rationale for choice of raw materials for development and production of specialized products for consumption in metabolic syndrome. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 90-94. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.013. EDN: https://elibrary.ru/CUEJSM.

ВВЕДЕНИЕ

Во всем мире, одной из основных проблем является рост числа людей с метаболическим синдромом. Основные нарушения, выявляемые у лиц с этим заболеванием, это появление инсулинорезистентности, и, как следствие, сахарного диабета второго типа, артериальная гипертония, ожирение, заболевания сосудов связанные с атеросклерозом и многое другое. Данное заболевание не имеет возраста и все чаще отмечается у молодежи [1], вследствие чего, необходимо сделать вывод о необходимости комплексного подхода к поиску решения такой крупной медико-социальной проблемы.

В основном метаболический синдром напрямую связан с ожирением и увеличением массы висцерального жира [2]. Лечение избыточной массы тела достигается не медикаментозными методами и включает в себя комплекс мероприятий: подбор рационального специализированного питания и увеличение двигательной активности пациента.

Согласно рекомендациям ВОЗ широкое распространение получила система питания со сниженной калорийностью, причем источниками жиров рекомендованы продукты животного происхождения: молоко, кисломолочные продукты, творог, нежирные сорта рыбы и мяса. Вариант питания с пониженным содержанием жиров легче переносится пациентами, не приводит к росту аппетита и способствует формированию правильных пищевых привычек [3].

С учетом вышеизложенного, можно сделать вывод, что создание специализированных молочных продуктов с заданными свойствами для питания людей с метаболическим синдромом становится сегодня чрезвычайно актуальным.

Для того, чтобы разработать специализированные молочные продукты для питания людей с метаболическим синдромом, необходимо четко понимать, какими параметрами они должны обладать. Согласно исследованиям зарубежных авторов, например E. Amirani и соавторов [4] говорится, что потребление сывороточных белков молока способствует значительному снижению уровня общего холестерина и липопротеинов низкой плотности, S.M Ulven с соавторами [5] описывают значительный противовоспалительный эффект потребления молока или молочных продуктов как у здоровых, так и у лиц с метаболическими нарушениями, а R.C.Zapata и другие [6] в своих трудах упоминают высокобелковые диеты, содержащие молочную сыворотку, которая способствует снижению массы тела, а лактоферрин вызывает устойчивую потерю массы тела и жира, снижая уровень лептина и инсулина в плазме крови [14]. Таким образом, можно заключить, что в целом потребление молочного белка положительно сказывается на динамике лечения при метаболических нарушениях. Основу любого молочного продукта составляет сырье, которое сегодня может быть представлено молоком разных видов сельскохозяйственных животных, вторичным молочным сырьем, сухими или восстановленными молочными смесями, причем каждый из перечисленных видов сырья так же может отличаться по компонентному составу.

МЕТОДЫ

В рамках проведения экспериментов по изучению различных видов молочного сырья, был рассмотрен состав молока различных видов сельскохозяйственных животных и вторичного молочного сырья полученного из коровьего молока. Применялись стандартные методы исследований, которые проводились на базе лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» г. Москва.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сегодня производители молочных продуктов активно ищут альтернативные источники сырья и начинают перерабатывать помимо коровьего молока, молоко козье и овечье. Для некоторых регионов козье и овечье молоко являются традиционным сырьем, так же как, кобылье или верблюжье [8-11]. Для проведения дальнейших исследований, необходимо удостовериться в соответствии качества сырья требованиям нормативной документации, а также соответствия необходимым для производства специализированных продуктов параметрам. Химический состав разных видов сырья представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав молока разных видов сельскохозяйственных животных

Table 1 – Chemical composition of milk of different types of farm animals

Вид сырья	Массовая доля, %			
	жира	белка	сухих веществ	лактозы
Коровье молоко	3,21±0,12	3,09±0,16	11,62±0,12	4,71±0,21
Козье молоко	3,52±0,14	3,47±0,21	12,3±0,11	4,67±0,09
Овечье молоко	5,85±0,15	5,62±0,12	11,3±0,08	4,75±0,14
Кобылье молоко	0,9±0,21	2,15±0,15	8,65±0,14	5,12±0,18
Верблюжье молоко	4,72±0,28	4,46±0,10	14,35±0,24	4,01±0,14

Из данных таблицы 1 следует, что самой высокой жирностью обладает овечье молоко (5,85±0,15) %, вместе с тем литературные источники отмечают, что данный показатель может доходить в некоторых случаях и до 8 % [8,10], что связано с породными особенностями животных, временем года и рационом кормления. Самой низкой жирностью обладает кобылье молоко (0,9±0,21) %, а с учетом колебаний связанных с влиянием внешних факторов жирность может достигать 1,5 % [11]. Сопоставимые результаты получены по содержанию массовой доли жира в коровьем и козьем молоке, (3,21±0,12) и (3,52±0,14) % соответственно. Самое высокое количество белка наблюдается у овечьего и верблюжьего молока (5,62±0,12) и (4,46±0,10) %, а самое низкое – у кобыльего молока (2,15±0,15) %. Содержание лактозы у всех образцов находилось в пределах от 4 до 5 %. По своим органолептическим показателям и химическому составу все образцы соответствовали требованиям Технического регламента Таможенного союза 033/2013 [13] и профильным нормативно-техническим документам.

Рассматривая полученные результаты с точки зрения возможности использования молока разных видов сельскохозяйственных животных, как основы для создания продуктов, употребляемых при метаболическом синдроме, наибольший интерес представляет сырье с низким содержанием жиров и повышенным содержанием белка. Следовательно, цельное молоко при разработке специализированной пищевой продукции, предназначенной для диетической коррекции больных с метаболическим синдромом, нуждается в коррекции состава, с целью увеличения массовой доли белка.

Для обеспечения бесперебойного производства специализированной продукции, сырье, которое идет на переработку должно поступать стабильно и в достаточном объеме. На территории Российской Федерации таким сырьем традиционно является коровье молоко, а также вторичное молочное сырье, полученное при производстве молочных продуктов на его основе. Вторичное молочное сырье представлено в виде обезжиренного молока, пахты или сыворотки [7]. Химический состав вторичного молочного сырья, полученного из коровьего молока, представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав разных видов вторичного молочного сырья

Table 2 – Chemical composition of different types of secondary dairy raw materials

Вид сырья	Массовая доля, %			
	жира	белка	сухих веществ	лактозы
Пахта	0,10±0,1	3,20±0,05	8,20±0,1	5,10±0,1
Обезжиренное молоко	0,40±0,1	3,10±0,06	9,12±0,1	5,02±0,1
Сыворотка	0,03±0,01	0,58±0,08	6,35±0,1	3,71±4,0

Образцы вторичного молочного сырья по своим органолептическим показателям и химическому составу соответствовали требования Технического регламента Таможенного союза 033/2013 [13] и профильным нормативно-техническим документам. По результатам ана-

лиза таблицы 2 стоит отметить, что показатель жирности в образцах находился в пределах от 0,05 до 0,5 %, показатели белка самые низкие в молочной сыворотке (0,58±0,08) %. С учетом того, что для промышленного производства интерес представляет сырье, которое возможно стабильно и в достаточном объеме направлять на переработку, то наиболее целесообразно использовать обезжиренное молоко.

Так же одним из вариантов, рассматриваемой для формирования основы специализированных продуктов является сухое вторичное молочное сырье, которое отличается более высокой концентрацией белка. Химический состав сухого вторичного молочного сырья на основе коровьего молока представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав разных видов сухого вторичного молочного сырья

Table 3 – Chemical composition of different types of dry secondary dairy raw materials

Вид сырья	Массовая доля, %		
	жира	белка	лактозы
Пахта сухая	6,5±0,1	30,0±0,5	49,0±0,1
Сухое обезжиренное молоко	1,5±0,1	34,0±0,5	51,0±0,1
Сухая сыворотка	2,0±0,1	9,0±1,0	66,0±4,0

Согласно данным таблицы 3 минимальное содержание жира у сухого обезжиренного молока (1,5±0,1) % и при этом максимальное содержание белка (34,0±0,5) %, что удовлетворяет требованиям, необходимым для создания специализированной пищевой продукции, предназначенной для пациентов с метаболическим синдромом.

ВЫВОДЫ

Согласно проведенным экспериментам и анализу данных, при выборе сырья для создания специализированных молочных продуктов для питания людей с метаболическим синдромом, необходимо основываться на том, что сырье должно обладать минимальным содержанием жиров, так как при данном заболевании рекомендована диета с пониженным их содержанием и высоким содержанием белка для максимального удовлетворения питательных потребностей.

При проведении анализа химического состава цельного молока разных видов сельскохозяйственных животных, жидкого и сухого вторичного молочного сырья, можно сделать вывод о том, что все сырье соответствовало требованиям Технического регламента Таможенного союза 033/2013 и профильной нормативно-технической документации. Необходимым требованиям состава для нового вида продукции в большей степени соответствовало вторичное молочное сырье, полученное из коровьего молока, как жидкое, так и сухое.

Исследование выполнено в рамках средств, выделяемых для реализации государственного задания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (FGMF-2022-0002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Moskalenko O.L., Kasparova I.E., Yaskevich R.A. Metabolic syndrome and obesity: diagnostic criteria // International Journal of Advanced Studies in Medicine and Biomedical Sciences. 2023. № 2. pp. 23-31

2. Cojocari S., Mătrăgună N., Bichir-thoreac L. Sindromul metabolic la copii: factori de risc, particularități de diagnostic și tratament // Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științe Medicale. 2023. № 1 (75). - pp. 73-86.

3. Нутрициология и клиническая диетология: национальное руководство / под ред. В. А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка. 2-е изд. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. 1008 с.

4. Amirani E. et al. Effects of whey protein on glycemic control and serum lipoproteins in patients with metabolic syndrome and related conditions: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials //Lipids in health and disease. 2020. Т. 19. С. 1-18. doi: 10.1186/s12944-020-01384-7.

5. Zapata R. C. et al. Whey protein components-lactalbumin and lactoferrin-improve energy balance and metabolism //Scientific reports. 2017. Т. 7. №. 1. С. 9917. doi: 10.1038/s41598-017-09781-2

6. Yeoh Y. K. et al. Gut microbiota composition reflects disease severity and dysfunctional immune responses in patients with COVID-19 //Gut. 2021. Т. 70. №. 4. С. 698-706. DOI: https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-323020

7. Тутельян В.А. Ключевые проблемы в структуре потребления пищевой продукции и прорывные технологии оптимизации питания для здоровьесбережения населения России / В.А. Тутельян, Д.Б. Никитюк // Вопросы питания. 2024. Т. 93. № 1 (551). С. 6-21.

8. Ospanov, A., Schetinina E., Velyamov S. etc. Survival of lactic acid bacteria when using the developed yogurt from the milk of small cattle under in-vitro conditions // *Food Science and Technology (Brazil)*, 2023, 43, e117722

9. Храмцов А. Г., Брыкалов А.В., Якуба Ю.Ф и др. Верблюжье молоко и сыворотка как сырье для молочной промышленности // Молочная промышленность. 2020. №4 . С. 52-53

10. Щетинина Е.М. Перспективы переработки овечьего молока на территории Алтайского края // Сыроделие и маслоделие. 2018. №2. С. 19-21

11. Семенова Е.Е., Симоненко Е.С., Мануйлов Б.М. и др Кобылье молоко – перспективное сырье для создания продуктов детского питания с функциональными свойствами / Копытко М.С. // Пищевая промышленность. 2022. № 11. С. 58-61.

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

13. Технический регламент Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9 декабря 2011 г

14. Новокшанова А. Л., Билялова А. С. Исследование совместимости функциональных пищевых ингредиентов восстановленного обезжиренного молока // Молочнохозяйственный вестник. 2023. №3 (51). С. 191-203

Информация об авторах

Д. Б. Никитюк – доктор медицинских наук, профессор, акад. РАН, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Е. М. Щетинина - доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

И. Ю. Тармаева – доктор медицинских наук, профессор, ученый секретарь ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Information about the authors

D. B. Nikityuk – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology", Moscow, Russia, +7 (495) 698-53-60

E. M. Shchetinina – Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Food Biotechnology and Specialized Products of the Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology", Moscow, Russia,

+7 (495) 698-53-71

I. Yu. Tarmaeva – Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Secretary of the Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology", Moscow, Russia,

+7 (495) 698-53-42

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 95–104.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 95–104.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.7
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.014 EDN: LLIZAP

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ АНАЛОГОВ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Марина Николаевна Альшевская [1], Оксана Вячеславовна Анистратова [2], Оксана Владимировна Казимирченко [3], Анастасия Антоновна Кочина [4]

[1, 2, 3, 4] Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[2] Западный филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Калининград, Россия

[1] marina.alshevskaya@klgtu.ru, https://orcid.org/0000-0002-0632-9013
[2] oksana.anistratova@klgtu.ru, https://orcid.org/0000-0002-6278-0861
[3] oksana.kazimirchenko@klgtu.ru, https://orcid.org/0009-0005-7197-0287
[4] kochina.kgtu@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-1168-2310

Аннотация. *Проблема пищевой аллергии (ПА) является актуальной на территории Российской Федерации и других стран, что подтверждается медицинскими и социологическими исследованиями и принятием нормативных документов, обязывающих производителей указывать аллергены на маркировке продуктов. В перечне пищевых аллергенов на территории Российской Федерации одним из лидеров по частоте проявления ПА является коровье молоко и продукты на его основе. В связи с этим разработка растительных продуктов с молочнокислыми микроорганизмами является актуальной. В работе проведены исследования по обоснованию технологических параметров производства растительного продукта на основе ферментированного овсяного порошка и белка подсолнечника с использованием микроорганизмов Streptococcus salivarius subsp. thermophilus и Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus. Работа проведена в два этапа. На первом изучена степень влияния режимов пастеризации на скорость кислотообразования при ферментации. Выявлено, что повышение температуры пастеризации от 80 до 90 ^{0}С увеличивает скорость кислотообразования анализируемых растительных смесей.*

На втором этапе определялось влияние температуры пастеризации и массовой доли пектина на качественные характеристики растительного ферментированного продукта и развитие молочнокислых микроорганизмов. Показано, что независимо от изучаемых температуры пастеризации растительных смесей (от 80 до 90°С) и массовой доли пектина (от 1,0 до 1,5 %) во всех полученных образцах растительных продуктов количество молочнокислых микроорганизмов составило не менее 1,0×·10 ^{7} КОЕ/г.

На основании полученных данных предложены режимы пастеризации восстановленной растительной смеси на основе ферментированного овсяного порошка и белка подсолнечника в зависимости от способа производства ферментированных растительных напитков: пастеризация при температуре 85±2 °С с последующим выдерживанием 10 минут (для предприятий, использующих периодический способ производства); пастеризация при температуре 90±2 °С без выдержки (для поточных производств).

Ключевые слова: *растительный продукт, ферментированный овсяный порошок, молочнокислые микроорганизмы, ферментация, пастеризация, растительные белки.*

Для цитирования: Альшевская М.Н., Анистратова О.В., Казимирченко О.В., Кочина А.А. Научное обоснование технологических параметров производства растительных аналогов кисломолочных продуктов // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 95 – 104. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.014, EDN: https://elibrary.ru/LLIZAP.

© Альшевская М. Н., Анистратова О. В., Казимирченко О. В., Кочина А. А., 2024

Original article

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PRODUCTION OF PLANT-BASED ANALOGUES OF FERMENTED MILK PRODUCTS

Marina N. Al'shevskaya [1], Oksana V. Anistratova [2], Oksana V. Kazimirchenko [3], Anastasiya A. Kochina [4]

[1, 2, 3, 4] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[2] Western branch of the Russian President Academy of National Economy and Public Administration, Russia, Kaliningrad
[1] marina.alshevskaya@klgtu.ru, https://orcid.org/0000-0002-0632-9013
[2] oksana.anistratova@klgtu.ru, https://orcid.org/0000-0002-6278-0861
[3] oksana.kazimirchenko@klgtu.ru, https://orcid.org/0009-0005-7197-0287
[4] kochina.kgtu@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-1168-2310

Abstract. *The problem of food allergy (PA) is relevant in the territory of the Russian Federation and other countries, which is confirmed by medical and sociological studies and the adoption of regulatory documents obliging manufacturers to indicate allergens on product labeling. In the list of food allergens on the territory of the Russian Federation, cow's milk and products based on it are one of the leaders in the frequency of PA manifestations. In this regard, the development of plant products with lactic acid microorganisms is relevant. The work carried out studies to substantiate the technological parameters of the production of a plant product based on fermented oatmeal powder and sunflower protein using microorganisms Streptococcus salivarius subsp. thermophilus and Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus. The work was carried out in two stages. At the first stage, the degree of influence of pasteurization regimes on the rate of acid formation during fermentation was studied. It was revealed that an increase in the pasteurization temperature from 80 to 90 °C increases the rate of acid formation of the analyzed plant mixtures.*

At the second stage, the influence of the pasteurization temperature and the mass fraction of pectin on the qualitative characteristics of the plant fermented product and the development of lactic acid microorganisms was determined. It was shown that, regardless of the studied pasteurization temperature of plant mixtures (from 80 to 90°C) and the mass fraction of pectin (from 1.0 to 1.5 %), the number of lactic acid microorganisms in all obtained samples of plant products it was at least 1.0×10^7 CFU/g.

Based on the data obtained, pasteurization modes of the reduced plant mixture based on fermented oatmeal powder and sunflower protein are proposed, depending on the method of production of fermented plant drinks: pasteurization at a temperature of 85 ± 2 °C followed by 10 minutes (for enterprises using a periodic production method); pasteurization at a temperature of 90±2 °C with no exposure (for in-line production).

Keywords: *plant-based product, fermented oatmeal powder, lactic acid microorganisms, fermentation, pasteurization, plant proteins.*

For citation: Al'shevskaya, M. N., Anistratova, O. V., Kazimirchenko, O. V. & Kochina, A. A. (2024). Scientific substantiation of technological parameters of the production of plant-based analogues of fermented milk products. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 95-104. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.014. EDN: https://elibrary.ru/LLIZAP.

ВВЕДЕНИЕ

Реакции повышенной чувствительности к пищевым продуктам известны с давних времен. Первое упоминание о них было описано в сочинение Гиппократа «De ratione victus in acutis» («О диете при острых болезнях»), которое в дальнейшем легло в основу рациональной диетологии.

Индустриализация пищевого производства, инновационные технологии переработки сельскохозяйственного сырья, широкое использование различных добавок, изменение характера и культуры питания населения ведут к росту частоты проявлений пищевой аллергии (ПА) и связанных с ней алиментарно зависимых заболеваний. В настоящее время распространенность случаев пищевой аллергии отмечается у 20 % детей и 10 % взрослых, при этом, по оценке специалистов, данная тенденция будет только увеличиваться.

Заболевания, связанные с пищевой аллергией, снижают качество жизни населения и вызывают дополнительную нагрузку на систему здравоохранения.

Для разработки эффективных мер по профилактике аллергических заболеваний как в целях укрепления здоровья населения на территории Российской Федерации приняты нормативно-правовые акты, обязывающие производителей указывать аллергены на маркировке продуктов.

В перечень пищевых аллергенов на территории Российской Федерации входит 14 продуктов (в том числе продуктов их переработки), среди которых коровье молоко и продукты на его

основе являются одними из лидеров по частоте проявления ПА. Аллергенными свойствами также обладает молоко других млекопитающих, в том числе козье. При этом козье молоко может выступать как перекрестный аллерген [1, 2].

Белки коровьего молока (β-лактоглобулин, α-лактальбумин, бычий сывороточный альбумин и γ-глобулин, а также α- и β-казеины) являются одним ведущих по клинической значимости аллергенов. Термин «непереносимость коровьего молока» включает в себя также непереносимость лактозы, являющейся основным углеводным источником молока, что объясняется отсутствием или недостатком фермента лактазы в желудке.

Исследования по взаимозаменяемости коровьего молока на аналоги из растительного сырья и продуктов на его основе показывают перспективность данной группы продукты для потребителей, страдающих аллергией [3, 4].

Основные изыскания по разработке аналогов кисломолочных продуктов были проведены на основе соевого молока, однако, входящие в состав сои ингибиторы могут взаимодействовать с протеолитическими ферментами, с образованием устойчивых комплексов, что в дальнейшем, можем привести к заболеваниям поджелудочной железы, а также лектины препятствуют усвоению полезных веществ в кишечнике [5, 6].

В качестве растительного сырья для производства аналогов кисломолочных продуктов перспективно использование ферментированных злаковых культур, в том числе овса. Он содержит в своем составе большое количество белка, полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, включая растворимые, такие как β-глюкан, олигосахариды, пентозаны. Имеется ряд исследований о благоприятном воздействии его на снижение уровня холестерина, поддержанием веса и улучшением функции кишечника [7].

Целью исследований является научное обоснование технологических параметров производства растительного аналога кисломолочного продукта.

МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись образцы растительных аналогов «йогурта» с использованием следующих основных видов сырья и материалов: овсяный порошок ферментированный (производитель ООО «Зеленые линии», ТУ 11.07.19 143 51070597 2020), белок подсолнечника (3,2 %, массовая доля белка – 60 %) (СТО 41996709 001 2019), пектин (производитель ООО «Вита Пектин»), закваска прямого внесения (Streptococcus salivarius subsp. thermophilus и Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus) (БК-Углич-СТБв), удовлетворяющих требованиям действующей нормативной документации ТР ТС 021/2011, ТР ТС 033/2013, ТР ТС 029/2012, ТР ТС 022/2011 [8, 9].

Таблица 1 – Температурно-временные режимы пастеризации опытных образцов
Table 1 – Temperature and time modes of pasteurization of experimental samples

Параметры	Образец					
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Температура, °С	75	75	85	85	90	90
Время выдержки, мин	15	30	10	15	без выдержки	2

Для изучения степени влияния режимов пастеризации на скорость кислотообразования при ферментации были приготовлены опытные образцы растительных аналогов (массовая доля пектина в восстановленной смеси 1,25 %) по технологии кисломолочных напитков (рис. 1). Образцы отличались режимами пастеризации восстановленной смеси, характеристика образцов указана в таблице 1.

Процесс ферментации осуществлялся при температуре 40±2 °С до достижения pH 4,6–4,8 ед, после ферментации производилось охлаждение образцов. Начальный показатель pH составлял для всех смесей 5,70 ед.

В полученных образцах изучали скорость кислотообразования при ферментации как разницу отношения величины pH в начале процесса сквашивания и в конце ферментации ко времени ферментации и их вязкость.

Для изучения влияния температуры пастеризации и массовой доли пектина на качественные характеристики готового продукта и развитие молочнокислых микроорганизмов и были приготовлены образцы растительных аналогов йогурта по вышеописанной технологии (рис. 1), характеристики образцов указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Опытные образцы

Table 2 – Prototypes

Параметры	Образец								
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
Массовая доля пектина, %	1	1,25	1,5	1	1,25	1,5	1	1,25	1,5
Температура, °С	80			85			90		
Время выдержки, мин	15			10			без выдержки		

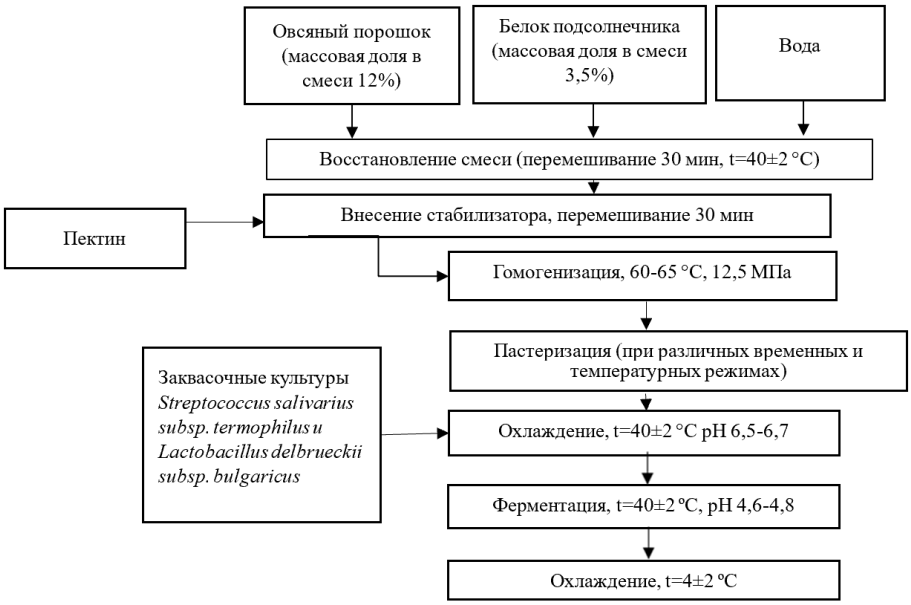


Рисунок 1 – Схема производства опытных образцов

Figure 1 – The scheme of production of prototypes

В полученных образцах определяли содержание молочнокислых микроорганизмов и их видовой состав, текстурные и органолептические характеристики (внешний вид, цвет, вкус, аромат, консистенция).

Количество молочнокислой микрофлоры и ее видовой состав в образцах ферментированных растительных продуктов устанавливали в соответствии с требованиями ГОСТ 33951-2016 путем семикратного разведения через 12 часов после их приготовления и охлаждения в холодильной камере (температура в центре образца 4±2 °С).

Для определения вязкости образцов использовали ротационный вискозиметр Brookfield DV-II + Pro со шпинделем RV-3, текстуры – текстурный анализатор Brookfield CT3 с цилиндрическим зондом диаметром 20 мм, скоростью погружения 1 мм/с, глубиной погружения 15 мм, усилием нагрузки 10 г. Вязкость образцов определялась после процесса сквашивания при температуре смеси 20±2 °С, текстура – после охлаждения в холодильной камере в течение суток с температурой 4±2 °С в центре продукта. Величину тиксотропного индекса оценивали как отношение вязкости (мПа·с) при 24 $с^{-1}$ к вязкости (мПа·с) при 5 $с^{-1}$.

Исследования проводились в 3-х кратной повторяемости. Математическая обработка экспериментальных данных осуществлялась с применением программ Staticstica 6.0, Microsoft Excel 2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Интенсивность процесса ферментации смеси при производстве кисломолочных продуктов характеризуется скоростью снижения ее активной кислотности (pH смеси). На рисунке 2 представлена скорость кислотообразования образцов, приготовленных из восстановленных растительных смесей с разными температурными и временными режимами пастеризации.

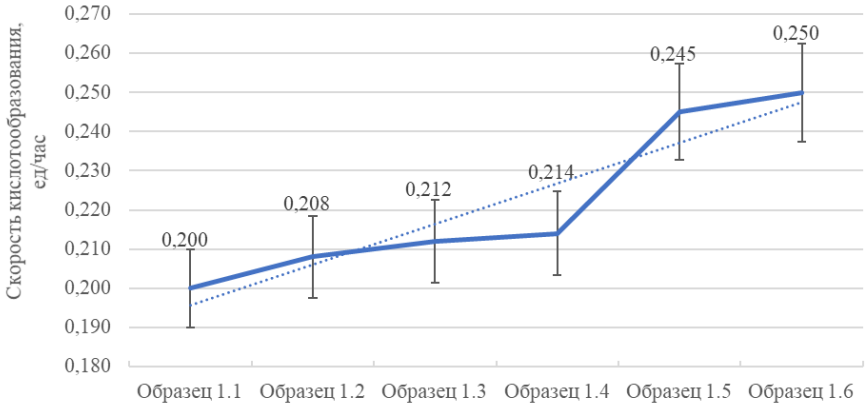


Рисунок 2 – Скорость кислотообразования образцов в процессе ферментации, ед./час

Figure 2 – The rate of acid formation of samples during fermentation, units/hour

Анализ рисунка 2 показывает, что с увеличением температуры пастеризации увеличивается скорость кислотообразования, однако увеличение времени пастеризации при всех изучаемых температурных режимах практически не влияет на данный показатель, поскольку его значения при одинаковых температурах (образцы 1.1 и 1.2; 1.3 и 1.4; 1.5 и 1.6) находятся в пределах стандартной погрешности (± 5,0 %). Анализ рисунка 1 показывает, что увеличение температуры пастеризации до 90 °С приводит к увеличению скорости кислотообразования на 14-18 % по сравнению с пастеризацией при 85 °С.

Важно также отметить, что температура пастеризации влияет не только на скорость кислотообразования, но и на качество конечного продукта. Китайскими учеными, исследующими производство растительных ферментированных продуктов из сои, выявлено, что при производстве растительных аналогов йогуртов увеличение скорости ферментации продукта влияет на образование сгустка низкой плотности, что может отрицательно отразиться на консистенции готового изделия, придав ей такие характеристики, как дряблый сгусток, отделение сыворотки, водянистость, которые являются допустимыми, в соответствии с требованиями действующей документации, но придают непривлекательный внешний вид готовому изделию [10]. Однако в предлагаемой технологии основным фактором, определяющим консистенцию готового продукта, является массовая доля структурообразователя и технологические факторы (температура и время выдержки), обеспечивающие его способность образовывать студни или гели.

Основной целью процесса ферментации, в этом случае, будет накопление в готовом продукте вносимых живых йогуртных культур молочнокислых бактерий, содержание которых определяет возможность отнесения его к группе функциональных продуктов (в соответствии с ГОСТ 55577 и МР 2.3.1.1915-04).

Исследование реологических характеристик, изучаемых ферментируемых растительных смесей, позволяет прогнозировать консистенцию готовых продуктов.

Оценку вязкости образцов проводили после окончания процесса ферментации при температуре 20±2 °С, оценку упругости – после холодильного хранения (4 ± 2 °С). В таблице 3 приведены значения тиксотропного индекса и упругости. Величина тиксотропного индекса показывает степень разрушения структуры после нагрузки и характеризуют скорость восстановления структуры смеси.

Таблица 3 – Величина тиксотропного индекса опытных образцов

Table 3 – The value of the thixotropic index of the prototypes

Номер образца	Температура пастеризации, °С	Время пастеризации	Тиксотропный индекс	Упругость
1.1	75	15 мин	2,61 ± 0,13	0,13 ± 0,01
1.2	75	30 мин	3,28 ± 0,16	0,13 ± 0,01
1.3	85	10 мин	2,93 ± 0,16	0,14 ± 0,01
1.4	85	15 мин	3,18 ± 0,15	0,13 ± 0,01
1.5	90	2 сек	2,62 ± 0,13	0,11 ± 0,01
1.6	90	2 мин	2,89 ± 0,14	0,35 ± 0,02

Из представленных в таблице 3 данных видно, что увеличение времени пастеризации восстановленной смеси при одинаковых температурных режимах приводит после ферментирования к возрастанию ее тиксотропного индекса.

Упругость отражает степень восстановления образцов после деформации в зависимости от силы и скорости приложенных усилий. Схожие значения данного показателя имеют образцы 1.1-1.5, однако упругость образца 1.6 значительно выше (в 2,5 – 3,1 раза в сравнении с упругостью образцов 1.5 и 1.3 соответственно), что говорит о влиянии выдерживания смеси при более высоких температурах (выше 90 °С) на способность пектина образовывать более прочные студни. Однако проведенные на следующем этапе исследования по корреляции инструментальных и органолептических характеристик консистенции показали, что потребители не считают ее приемлемой, характеризуя «излишне плотной». Полученные результаты показывают нецелесообразность увеличения времени пастеризации при изучаемых температурных режимах.

Исходя из представленных данных видно, что оптимальными режимами пастеризации восстановленной растительной смеси является ее нагревание до температуры 85±2 °С с последующим выдерживанием 10 минут. Данный режим может быть применен на предприятиях, использующих периодический способ производства йогуртов (пастеризатор состоит из температурно-регулируемой закрытой ванны). Для поточных производств оптимальными будут режимы пастеризации восстановленной смеси при температуре 90±2 °С без выдержки.

Для определения влияния температуры пастеризации и массовой доли пектина в восстановленной растительной смеси на количество молочнокислых микроорганизмов и их видовой состав в растительном аналоге йогурта было исследовано 9 образцов (рис. 3).

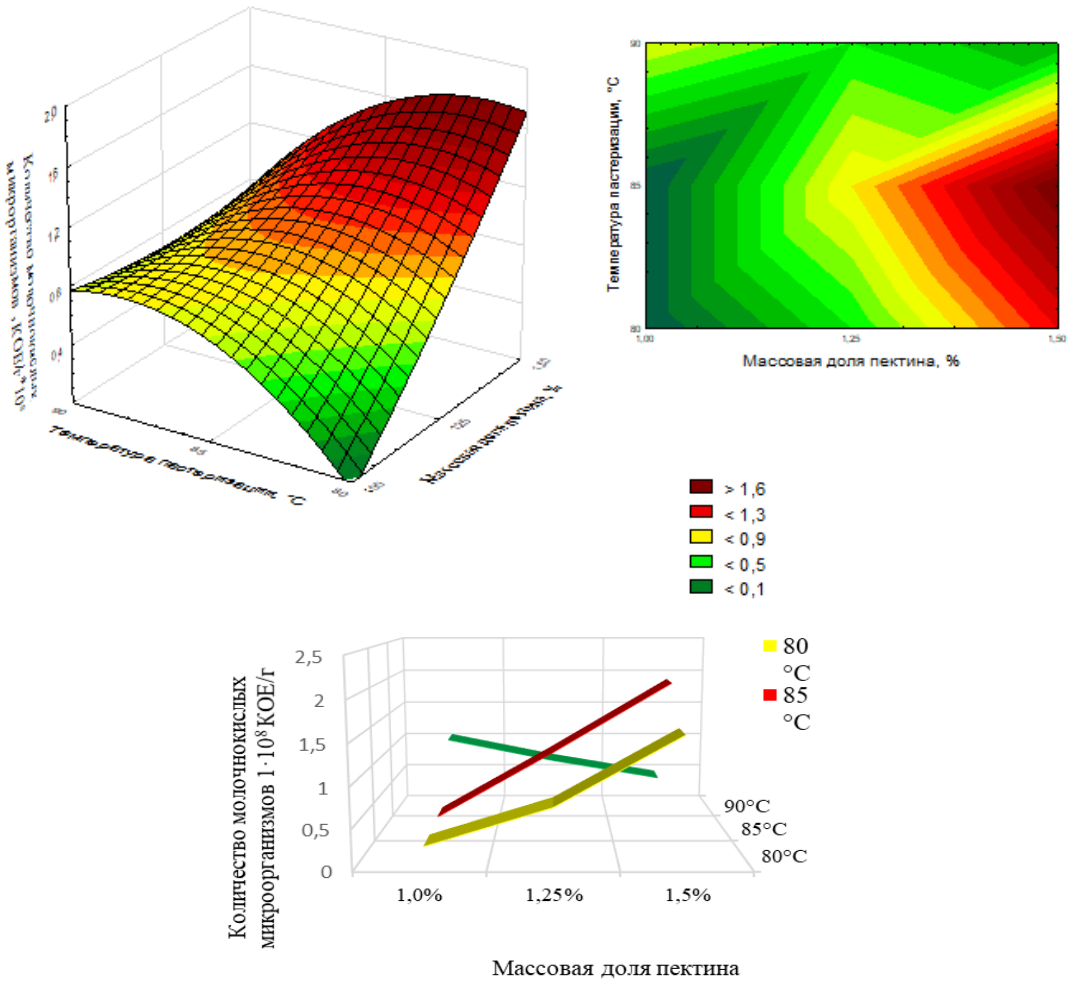


Рисунок 3 – Содержание молочнокислых микроорганизмов в опытных образцах

Figure 3 – The content of lactic acid microorganisms in experimental samples

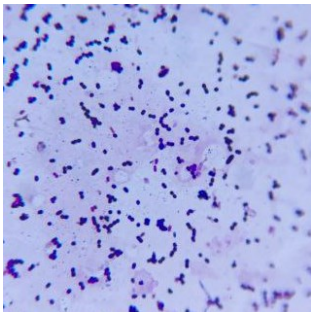
Анализ представленных данных показывает, что все опытные образцы содержат не менее 1,0×10^7 КОЕ/г молочнокислых микроорганизмов, что позволяет отнести разработанный растительный аналог к функциональным пищевым продуктам (ГОСТ Р 52349 — 2005).

Из представленных на рисунке 3 данных видно, что в образцах с температурой пастеризации 80 °С и 85 °С при увеличении массовой доли пектина количество микроорганизмов увеличивается. Дальнейшее нагревание восстановленной смеси до температуры 90 °С показало обратную зависимость: при увеличении массовой доли пектина общее количество микроорганизмов уменьшается. Вероятно, это связано с влиянием высокой температуры (90 °С и выше) на степень набухания пектина, при этом происходит переход свободной влаги в осмотически связанную (структурную, удерживаемую при формировании гелей), которая становится менее доступной для микробных клеток.

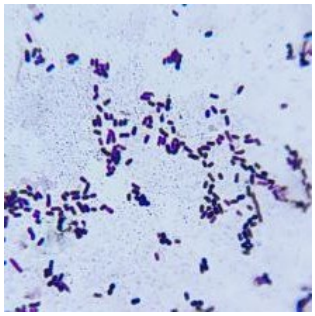
При количественном учете молочнокислых бактерий проводили изучение качественного состава бактерий по характерным типам колоний на селективных питательных средах и микроскопии окрашенных препаратов (рис. 4).

Молочнокислые виды бактерий на плотной питательной среде Бликфельдта формировали мелкие (диаметром 1-3 мм), круглой формы, слизистые, молочного цвета колонии. На микроскопических препаратах молочнокислые стрептококки были представлены грамположительными кокками в виде диплококков или длинных цепочек, молочнокислые лактобациллы – в виде грамположительных крупных одиночных палочек. Культуральные, морфологические и тинкториальные признаки выделенных штаммов молочнокислых бактерий соответствует описанию, представленному в атласах штаммов вносимых заквасочных культур.

Органолептическая оценка опытных образцов представлена в таблице 4.


а)


б)


в)

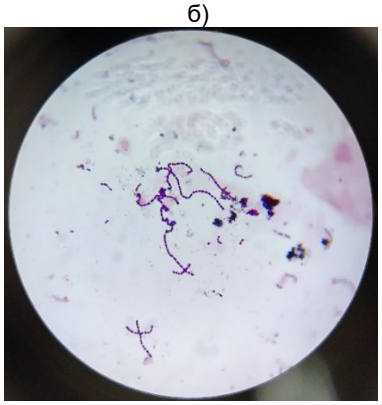

г) увеличение x1000 (magnification x1000)

Рисунок 4 – Световая микроскопия клеток Streptococcus salivarius subsp. thermophilus (а, б) и Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus (в), выделенных из микропрепарата растительного аналога йогурта. Окраска по Граму

Figure 4 – Light microscopy of клеток Streptococcus salivarius subsp. thermophilus (а, б) и Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus (в) isolated from a micro-preparation of a plant analogue of yogurt. Gram coloring

Таблица 4 – Органолептическая оценка образцов в зависимости от параметров пастеризации и массовой доли пектина

Table 4 – Organoleptic evaluation of samples depending on pasteurization parameters and mass fraction of pectin

Показатель/ Образец	Описание								
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
Внешний вид	Продукт кремового цвета с вкраплениями нерастворимых частиц								
Цвет	Светло-кремовый			Кремовый			Темно-кремовый		
Вкус, аромат	Чистый кисломолочный с запахом и ароматом овса и подсолнечника								
	слабовыраженный	кисломолочный	ярко выраженный	слабовыраженный	кисломолочный	ярко выраженный	ярко выраженный	кисломолочный	слабовыраженный
Консистенция	Однородная с разрушенным сгустком								
	мягкая, мажущая	плотная	излишне плотная, желеобразная	мягкая, мажущая	густая, вязкая	плотная	плотная	плотная	излишне плотная, желеобразная

Несмотря на то, что субстратом, для получения образцов, выступала восстановленная смесь овсяного порошка и белка семян подсолнечника, а не молоко, запах у всех образцов характеризовался как кисломолочный. В образцах с массовой долей пектина 1,0 % и температурой

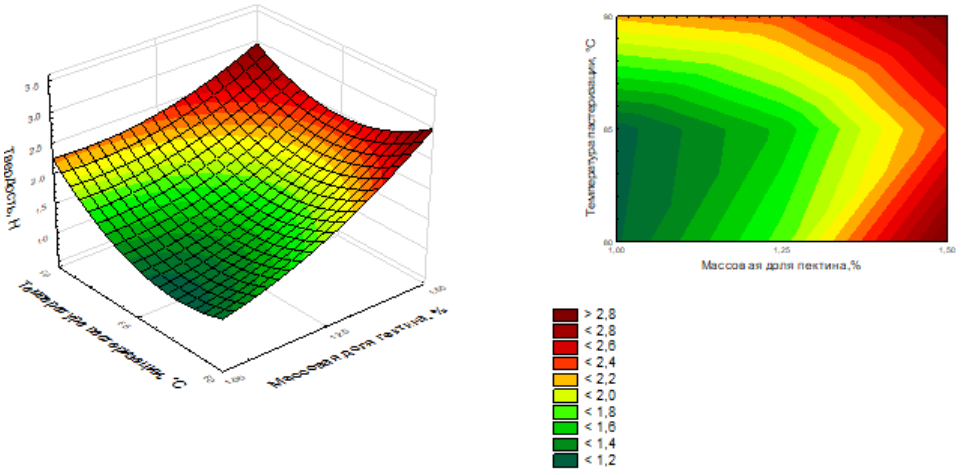
растеризации 80-85 °С наблюдался менее выраженный кисломолочный запах, что вероятно связано со степенью ферментативной деструкции сахаров молочнокислыми бактериями (рис. 3). При обосновании массовой доли вносимого структурообразователя наиболее значимым критерием являлось достижение консистенции готового продукта, характерной для густых йогуртов. Консистенция всех образцов растительных аналогов с массовой долей пектина 1,5 % (2,3; 2,6; 2,9) и образцов (2.7 – 2.9), пастеризация смеси которых проводилась при температуре 90 °С, характеризовалась как плотная, желеобразная. Наиболее характерная для густых йогуртов консистенция отмечалась у образца 2.5 (массовая доля пектина 1,25 %; пастеризация смеси при температуре 85 °С).

Оценка текстуры образцов представлена в таблице 5 и на рисунке 5.

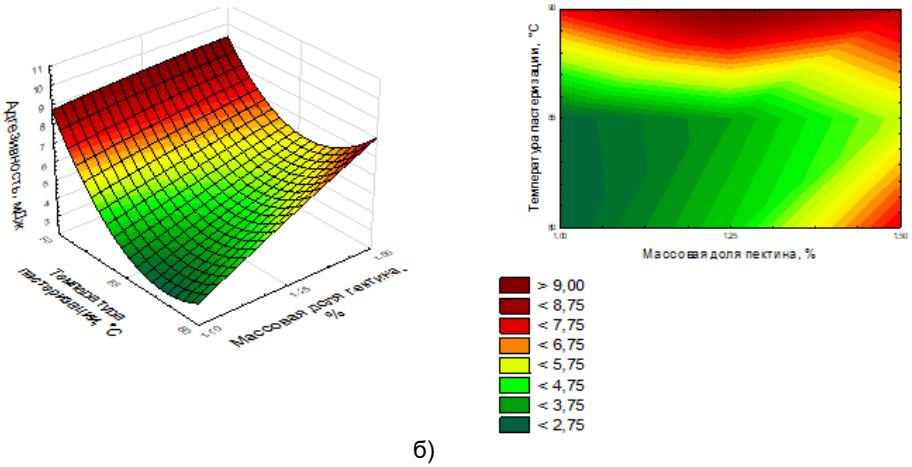
Таблица 5 – Параметры текстуры образцов в зависимости от параметров пастеризации и массовой доли пектина

Table 5 – Texture parameters of the samples depending on the pasteurization parameters and the mass fraction of pectin

Показатель	Образец								
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
Работа деформации, мДж	10,10 ± 0,51	15,10 ± 0,76	27,40 ± 1,37	9,80 ± 0,49	12,40 ± 0,62	20,30 ± 1,02	21,10 ± 1,06	22,00 ± 1,10	26,40 ± 1,32
Усилие отрыва, Н	0,45 ± 0,02	0,70 ± 0,04	1,14 ± 0,06	0,48 ± 0,02	0,59 ± 0,03	0,83 ± 0,04	0,93 ± 0,05	1,04 ± 0,05	1,15 ± 0,06
Упругость	0,24 ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,07 ± 0,004	0,08 ± 0,004



а)



б)

Рисунок 5 – Изменение текстурных характеристик образцов в зависимости от температуры пастеризации и концентрации пектина: а) изменение твердости (Н), б) изменение адгезивности (мДж) опытных образцов

Figure 5 – Changes in the textural characteristics of samples depending on the pasteurization temperature and pectin concentration: a) change in hardness (H), б) change in adhesiveness (mJ) of test samples

Из представленных данных на рисунке 5 и в таблице 5 видно, что с увеличением содержания пектина в образцах возрастает работа деформации. Наибольшее значение данного показателя отмечено в образцах с массовой долей пектина 1,5 %, пастеризация смеси которых проводилась при температуре 80 °С (27,40± 1,37 мДж) и 90 °С (26,40±1,32 мДж) соответственно. Аналогичная зависимость отмечается также в таком показателе как «усилие отрыва», где значения данного показателя возрастают с увеличением массовой доли пектина.

Твердость опытных образцов характеризует силу, которая потребуется для прокусывания продукта в полости рта. Результаты проведенных исследований показывают повышение твердости образцов с увеличением содержания структуроорбразователя и температуры пастеризации смеси (рис. 5).

В образцах, пастеризация смеси которых проводилась при температуре 90 °С были установлены самые высокие значения данного показателя (2,23-2,96, Н). Самые низкие показатели были в образцах с массовой долей пектина 1 % (температура пастеризации смеси 80-85 °С).

Адгезивность (мДж) характеризует степень, с которой разжевываемый образец будет прилипать в полости рта к зубам. Самые высокие значения данного показателя установлены в образцах 2.7-2.9, (с температурой пастеризации смеси 90 °С), наименьшие значения - в образцах с массовой долей пектина 1 % (температура пастеризации составляла 80-85 °С).

Таким образом с учетом проведенных исследований лучшими органолептическими и текстурными показателями обладали опытные образцы с массовой долей пектина 1,25 % (температура пастеризации 85 °С).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования по обоснованию технологических параметров производства растительного аналога кисломолочного продукта.

Установлено, что с увеличением температуры пастеризации анализируемых образцов растительных смесей (от 80 до 90 °С при рассматриваемых временных параметрах) возрастает скорость кислотообразования. При температуре 90 °С скорость кислотообразования возрастает в 1,25 раза по сравнению с тепловой обработкой при температуре 80 °С.

Показано, что независимо от изучаемых температуры пастеризации растительных смесей (от 80 до 90 °С) и массовой доли пектина (от 1,0 до 1,5 %) во всех полученных образцах растительных продуктов количество молочнокислых микроорганизмов составило не менее $1{,}0\times10^{7}$ КОЕ/г, при этом при температурах 80 и 85 °С с увеличением массовой доли пектина от 1,0 до 1,5 % количество молочнокислых микроорганизмов возрастает от $1{,}9\times10^{7}$ до $15{,}4\times10^{7}$ КОЕ/г и от $2{,}2\times10^{7}$ до $20{,}2\times10^{7}$ КОЕ/г (для 80 и 85 °С соответственно). При температуре пастеризации 90 °С наблюдается обратная зависимость (с увеличением массовой доли пектина от 1,0 до 1,5 % количество молочнокислых микроорганизмов снижается с $10{,}5\times10^{7}$ КОЕ/г до $4{,}8\times10^{7}$ КОЕ/г).

Рекомендуемые режимы пастеризации восстановленной растительной смеси на основе ферментированного овсяного порошка и белка подсолнечника в зависимости от способа производства ферментированных растительных напитков: пастеризация при температуре 85±2 °С с последующим выдерживанием 10 минут (для предприятий, использующих периодический способ производства); пастеризация при температуре 90±2 °С без выдержки (для поточных производств).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ревякина В.А. Проблема пищевой аллергии на современном этапе // Вопросы питания. 2020. Т 89, № 4. С. 186-192. DOI: https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10052.

2. Пищевые аллергены: пороговые значения и методологии управления рисками / Е. В. Крюченко, Ю. А. Кузлякина, И. М. Чернуха, В. С. Замула // Пищевые системы. 2021. Т. 4, № 4. С. 246-254. DOI 10.21323/2618-9771-2021-4-4-246-254.

3. Альшевская М. Н., Кочина А.А. Исследование потребительских предпочтений аналогов йогуртов на растительной основе // Технология и товароведение инновационных продуктов. 2023. № 4(81). С. 100-110. DOI:10.33979/2219-8466-2023-81-4-100-109.

4. Альшевская М.Н., Кочина А.А. Основные направления проектирования и разработки растительных аналогов кисломолочных продуктов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - Продукты здорового питания. 2023. № 3 С. 69-76 DOI: 10.24412/2311-6447-2023-3-69-76.

5. Ферментированный продукт на растительной основе / Г.А. Донская, В.М. Дрожжин, Т.Е. Блинова, В.К. Семипятный // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 4. С. 67-78. doi 10.36107/spfp.2020.329.

6. Изучение способности молочнокислых бактерий к ферментации растительных аналогов молока / Ю. Р. Серазетдинова, А. С. Фролова, И. С. Милентьева, В. И. Минина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 3(59). С. 128-134. DOI 10.46548/21vek-2022-1159-0019.

7. Ионова К.С., Бакуменко О.Е., Бакуменко П.В. Разработка технологии функционального напитка на зерновой основе // Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 4. doi 10.36107/spfp.2022.293.

8. Технологические особенности изготовления растительного продукта с использованием микроорганизмов Streptococcus salivarius subsp. thermophilus и Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus / М. Н. Альшевская, О.В. Анистратова, А.А. Кочина // Вестник Международной академии холода. 2022. № 3. С 39 - 48. DOI: 10.17586/1606 4313 2022 21 3-39-48.

9. Rheological structure assessment of the plant alternative to yoghurt / M. Alshevskaya, O. Anistratova, A.

Kochina, V. Ustich, D. Alshevskiy // BIO Web Conf. Vol. 64 (2023) 01020 P. 1-11. doi 10.1051/bioconf/20236401020.

10. An update on the nutritional, functional, sensory characteristics of soy products, and applications of new processing strategies / J.S. Cai, J.Y. Feng, Z.J. Ni, R.H. Ma, K. Thakur, S. Wang, F. Hu, J G. Zhang, Z.J. Wei // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 112. P. 676-689. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.04.039.

Информация об авторах

М. Н. Альшевская – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания» Калининградского государственного технического университета.

О. В. Анистратова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания» Калининградского государственного технического университета, преподаватель Западного филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации.

О. В. Казимирченко – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» Калининградского государственного технического университета.

А. А. Кочина – магистрант кафедры «Технология продуктов питания» Калининградского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Revyakina, V.A. (2020). The problem of food allergies at the present stage. Voprosy pitaniya, Vol. 89 (4), 186-192. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10052.

2. Kryuchenko, E. V., Kuzlyakina, Yu. A., Chernuxa, I. M. & Zamula, V. S. (2021) Food allergens: threshold levels and methodologies for risk management. Pishhevye sistemy, Vol. 4 (4), 246-254. (In Russ.). DOI 10.21323/2618-9771-2021-4-4-246-254.

3. Al'shevskaya, M. N. & Kochina, A.A. (2023) The study of the quality of students' nutrition in the kaliningrad region. Texnologiya i tovarovedenie innovacionnyx produktov. 4(81), 100-110. (In Russ.). DOI:10.33979/2219-8466-2023-81-4-100-109.

4. Al'shevskaya M.N. & Kochina A.A. (2023) The main directions of design and development of plant analogues of fermented milk products. Texnologii pishhevoj i pererabatyvayushhej pro-myshlennosti APK - Produkty zdorovogo pitaniya, (3), 69-76. (In Russ.). DOI: 10.24412/2311-6447-2023-3-69-76.

5. Donskaya, G.A., Drozhzhin, V.M., Bli-nova, T.E. & V.K. Semipyatnyj. (2020) Fermented plant-based product. Xranenie i pererabotka sel'xozsyr'ya, (4), 67-78. (In Russ.). doi 10.36107/spfp.2020.329

6. Serazetdinova, Yu. R., Frolova, A. S., Milent'eva, I. S. & Minina, V. I. (2022) Study of the ability of lactic acid bacteria to ferment plant analogues of milk. XXI vek: itogi pro-shlogo i problemy nastoyashhego plyus, Vol. 11, 3(59), 128-134. (In Russ.). DOI 10.46548/21vek-2022-1159-0019.

7. Ionova, K.S., Bakumenko, O.E. & Bakumenko, P.V. (2022) Development of technology for a functional grain-based drink. Xranenie i pererabotka sel'xozsyr'ya, (4). (In Russ.). doi 10.36107/spfp.2022.293.

8. Al'shevskaya, M. N., Anistratova, O.V. & Kochina A.A. (2022) Technological peculiarities of developing a plant product with the use of Streptococcus salivarius subsp. thermophilus и Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus microorganisms. Vestnik Mezhdunarodnoj akademii xoloda. (3). 39 - 48. (In Russ.). DOI: 10.17586/1606 4313 2022 21 3-39-48.

9. M. Alshevskaya, O. Anistratova, A. Kochina, V. Ustich & D. Alshevskiy (2023) Rheological structure assessment of the plant alternative to yoghurt. BIO Web Conf. Vol. 64 01020 P. 1-11. doi 10.1051/bioconf/20236401020.

10. S. Cai, J.Y. Feng, Z.J. Ni, R.H. Ma, K. Thakur, S. Wang, F. Hu, J G. Zhang, Z.J. Wei. (2021). An update on the nutritional, functional, sensory characteristics of soy products, and applications of new processing strategies. J Trends in Food Science & Technology, (112). 676-689. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.04.039.

Information about the authors

M. N. Alshevskaya – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology at the Kaliningrad State Technical University.

O. V. Anistratova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology at the Kaliningrad State Technical University, Lecturer of Western branch of the Russian President Academy of National Economy and Public Administration.

O. V. Kazimirchenko – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture of the Kaliningrad State Technical University.

A. A. Kochina is a graduate student of the Department of Food Technology of Kalinin-Gradsky State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 27 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 Feb 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 105–110.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 105–110.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.723
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.015 EDN: GBHOCP

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА С БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ДОБАВКАМИ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Виктор Николаевич Невзоров [1], Игорь Викторович Мацкевич [2], Жанна Александровна Кох [3]

[1, 2, 3] ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия
[1] nevzorov1945@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-3355-4451
[2] IMatskevichV@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-4270-1599
[3] jannetta-83@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4016-7596

Аннотация. *В настоящее время в Российской Федерации перед пищевой промышленностью стоит основная задача по полному обеспечению населения страны разнообразными местными продуктами питания. Учитывая большое разнообразие природно-климатических условий произрастаний растительного сырья в Российской Федерации, возникает необходимость применения нетрадиционных видов сырья с цель обогащения продуктов питания ежедневного спроса биологически активными добавками из растительного сырья. В материалах статьи использованы результаты научных исследований по применению растительного сырья в хлебобулочном производстве, которые показали, что непосредственная добавка морфологической части растительного сырья в виде порошка в тесто не способствует полному обогащению биологически-активными веществами хлебобулочных продуктов. Разработаны новые технологии экстракции морфологических частей растительного сырья для использования в производстве пищевых продуктов, так как экстракция предусматривает полное извлечение белков, жиров, углеводов и других частей, входящих в биологические активные вещества, полученные экстракционные вещества имеют небольшой объем и вес и поэтому при их использовании не происходит изменения качества пищевых продуктов. Водно-глицериновый экстракт из побегов брусники готовят по технологии водно-глицериновой электродинамической экстракции, которая обеспечивает высокую сохранность биологически активных веществ исходного сырья. По результатам проведенных научных и экспериментальных исследований была разработана технологическая схема производства пшеничного хлеба с внесением в рецептуру хлеба водно-глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaea. Проведен патентный поиск по существующему оборудованию для экстракции биологически активных веществ из растительного сырья, что позволило разработать новую лабораторную установку для экстракции растительного сырья, авторские права защищены патентом на полезную модель РФ №194622. Выполнены экспериментальные исследования по определению органолептических показателей качества пшеничного хлеба изготовленного по разработанной технологии с внесением в рецептуру хлеба водно-глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaea. Для реализации разработанного способа путем получения экстракта из побегов брусники была разработана лабораторная установка для экстракции растительного сырья, авторские права защищены патентом на полезную модель №194622 «Лабораторная установка для экстракции растительного сырья».*

Ключевые слова*: технология, пшеничный хлеб, брусника, побеги, экстракция, рецептура, оборудование.*

Для цитирования: Невзоров В. Н., Мацкевич И. В., Кох Ж. А. Технология производства пшеничного хлеба с биологически активными добавками из растительного сырья // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 105 – 110. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.015, EDN: https://elibrary.ru/GBHOCP.

© Невзоров В. Н., Мацкевич И. В., Кох Ж. А., 2024

Original article

PRODUCTION TECHNOLOGY OF WHEAT BREAD WITH BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVES FROM VEGETABLE RAW MATERIAL

Viktor N. Nevzorov [1], Igor V. Matskevich [2], Zhanna A. Koch [3]

[1, 2, 3] Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[1] nevzorov1945@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-3355-4451
[2] IMatskevichV@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-4270-1599
[3] jannetta-83@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4016-7596

Abstract. *Currently, the food industry in the Russian Federation faces the main task of providing the country's population with a variety of local food products. Given the great variety of natural and climatic conditions of plant raw materials in the Russian Federation, there is a need to use non-traditional raw materials in order to enrich food products of daily demand with biologically active additives from plant raw materials. The results of scientific research on the use of plant raw materials in bakery production are used in the materials of the article, which showed that the direct addition of the morphological part of plant raw materials in the form of powder in the dough does not contribute to the full enrichment of bioactive substances of bakery products. New technologies of extraction of morphological parts of plant raw materials for use in the production of food products have been developed, as extraction provides for the complete extraction of proteins, fats, carbohydrates and other parts included in biologically active substances, the obtained extraction substances have a small volume and weight and therefore their use does not change the quality of food products. Water-glycerine extract from lingonberry shoots is prepared by the technology of water-glycerine electrodynamic extraction, which provides high preservation of biologically active substances of raw materials. According to the results of scientific and experimental studies, a technological scheme of wheat bread production with the introduction of water-glycerine extract from Vaccinium vitis-idaea shoots into the bread recipe was developed. The patent search on the existing equipment for extraction of biologically active substances from plant raw materials was carried out, which allowed to develop a new laboratory installation for extraction of plant raw materials, the copyright is protected by the patent for utility model of the Russian Federation №194622. Experimental studies on determination of organoleptic quality indicators of wheat bread made according to the developed technology with the introduction of water-glycerine extract from Vaccinium vitis-idaea shoots into the bread recipe have been carried out. For realization of the developed method by obtaining the extract from lingonberry shoots the laboratory unit for extraction of plant raw materials was developed, the copyright is protected by the patent for useful model No. 194622 "Laboratory unit for extraction of plant raw materials".*

Keywords: *technology, wheat bread, Vaccinium vitis-idaea L., shoots, extraction, recipe, equipment.*

For citation: Nevzorov V. N., Matskevich I. V. & Kokh Zh. A. (2024). Production technology of wheat bread with biologically active additives from vegetable raw material. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 105-110. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.015. EDN: https://elibrary.ru/GBHOCP.

ВВЕДЕНИЕ

Хлебобулочные изделия являются основными продуктами питания, широко потребляемыми в больших количествах по всему миру, и играют важную роль в питании человека [1]. В связи с возросшей осведомленностью о проблемах со здоровьем хлебопекарная промышленность переходит к производству функциональных и здоровых продуктов питания, в основном путем обогащения их биологически активными ингредиентами, такими как белки, волокна, минералы, витамины в ответ на все более требовательного потребителя.

Включение ингредиентов, которые демонстрируют функциональные свойства, в дополнение к традиционным питательным веществам, является интересной альтернативой разработке инновационных хлебобулочных изделий.

Технология производства пшеничного хлеба предусматривает использование основного сырья в виде пшеничной муки, воды, дрожжей и соли и соответствовать согласно ГОСТ Р 58233-2018 [1]. К дополнительному сырью относятся все остальные продукты, используемые в хлебопечении.

Хлеб является неотъемлемой пищей в рационе многих людей по всему миру, при этом среднее потребление составляет от 59 до 70 кг в год на душу населения [4], что обусловлено универсальностью его приготовления, относительно низкой стоимостью и высокой энергетической ценностью. В настоящее время всё большей популярность пользуются различные виды выпечки с использованием биологически активных растительных ингредиентов, используемых в каждом регионе, тем не менее, ключевыми ингредиентами являются мука, вода, дрожжи и соль.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА С БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ДОБАВКАМИ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Для улучшения качества хлебобулочных изделий, придания им дополнительных функциональных свойств используется большое количество разнообразных пищевых добавок [9]. Наиболее распространенным зерном для хлебопечения является пшеница, поскольку пшеничная мука создает тесто с желаемыми реологическими свойствами при смешивании с дрожжами. Кроме того, около 80 % населения мира потребляет пшеницу из-за ее основных питательных веществ. Таким образом, это зерно составляет 27 % мирового производства зерновых, учитывая приспособляемость этой культуры к широкому спектру климатических условий. Несмотря на растущий интерес к цельнозерновому хлебу из-за его высокого содержания клетчатки, которая полезна для здоровья, белый хлеб по-прежнему широко распространен во всем мире, учитывая его сенсорные свойства и доступную стоимость. Зерновые культуры представляют собой важный источник углеводов в рационе человека, обеспечивая более 50 % ежедневных калорий.

Для обогащения хлеба, а значит, и для существенного изменения не только его органолептических характеристик, но и полезных для здоровья свойств, используются различные ингредиенты в виде дикорастущих и культурных растений. Ранее представленные исследования [7] показали, что наибольшее количество биологически активных веществ находится в составе дикорастущих растений и зависит от морфологического строения растения. В этой связи, разработка технологии хлеба с использованием дикорастущего сырья является актуальной проблемой и требует дополнительных исследований.

Выполненные исследования [2, 5, 6] показали, что требования к ингредиентному составу биологически активных веществ непрерывно растут и применяют как дополнительное сырье, которое имеет определенные объемы внесения, так как внесение больших объемов разного растительного сырья оказывает отрицательное воздействие на качество конечного продукта, его вкус, запах, аромат, внешнее состояние и пищевую ценность.

Повышение пищевой ценности хлеба может быть достигнуто путем улучшения процесса производства или обогащения рецептур. Соединения с многообещающим потенциалом для применения в хлебе — это полифенолы, которые характеризуются множеством типов и конфигураций заместителей. Среди этих соединений есть такие подгруппы, как флавоноиды (включая антоцианы, флавонолы, изофлавоны), фенольные кислоты и другие. Основным источником полифенолов является сырье растительного происхождения, и в разных растениях существуют различные профили фенольных соединений. Некоторые из полифенолов, способствующих укреплению здоровья, находятся в растениях с ограниченными возможностями применения, в несъедобных частях растений или в отходах переработки. Процесс экстракции может решить проблемы, связанные с ограниченными возможностями применения этих соединений. Примером такой процедуры является использование экстрактов, полученных из побегов брусники (Vaccinium vitis-idaea L.) которые являются ценным источником флавонолов [3, 4, 8]. Полифенолы обладают широким спектром биологических функций и биохимической активности. Доказано, что они оказывают благотворное влияние на здоровье человека и эффективность работы сердечно-сосудистой системы, снижают уровень холестерина в крови. Они также обладают высоким антиоксидантным потенциалом и высокой биоактивностью метаболитов.

В представленных материалах статьи приведен новый способ производства пшеничного хлеба с использованием замеса теста безопарным способом с внесением в рецептуру хлеба водно-глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaea.

Целью данного исследования является разработка технологии производства пшеничного хлеба с использованием водно-глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaea.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать технологическую схему производства пшеничного хлеба с внесением в рецептуру хлеба водно-глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaea.

2. Выполнить патентные исследования по существующему оборудованию для экстракции биологически активных веществ из растительного сырья.

3. Выполнить экспериментальные исследования по определению органолептических показателей качества пшеничного хлеба изготовленного по разработанной технологии с внесением в рецептуру хлеба водно-глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaea.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является технология производства пшеничного хлеба с использованием водно-глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaea L.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам научных исследований был разработан способ производства пшеничного хлеба, интеллектуальная собственность которого была защищена патентом РФ № 2783969 [10]. На основании полученного патента, была разработана технологическая схема производства пшеничного хлеба, приведенная на рисунке 1.

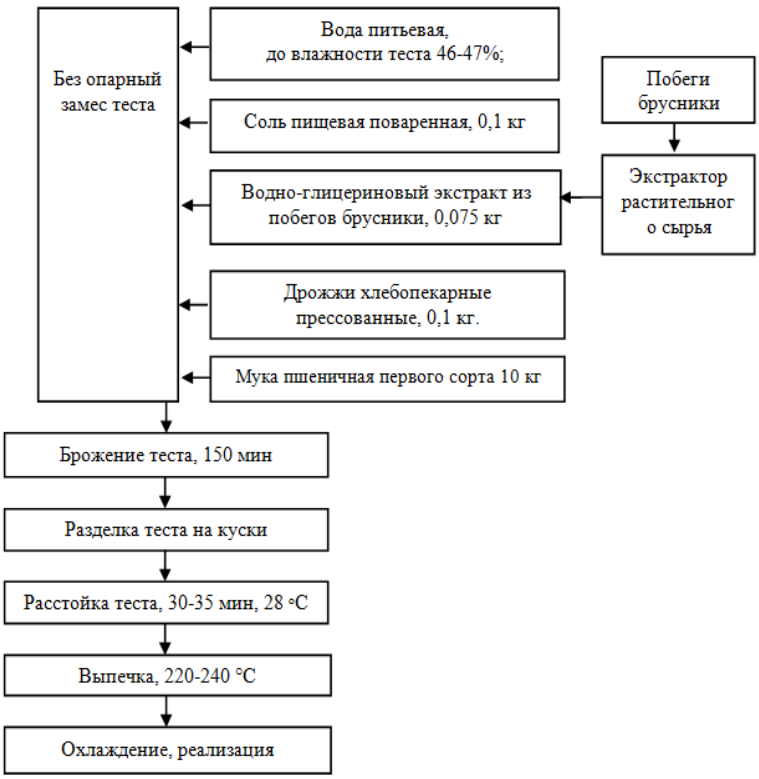


Рисунок 1 – Технологическая схема производства пшеничного хлеба с водно-глицериновым экстрактом из побегов брусники

Figure 1 – Technological scheme for the production of wheat bread with water-glycerin extract from cranberry shoots

Технологическая схема, представленная на рисунке 1, позволяет сделать вывод о том, что основным технологическим элементом в данной схеме является экстрактор для переработки побегов Vaccinium vitis-idaea и получения, необходимых биологически активных веществ, улучшающих качество пшеничного хлеба. По результатам патентных исследований и разработки нормативно-технической документации на защиту интеллектуальной собственности получен патент РФ на полезную модель №194622 [11], кинематическая схема установки приведена на рисунке 2.

Установка для проведения экстракции побегов Vaccinium vitis-idaea содержит котел 1 с нагревателями 2 и сетками 3 для экстракции растительного сырья, патрубок 4 для сбора экстракта, крышки котла 5, шаровой холодильной камеры 6 с установленными разделителями паров 7, при этом шаровая холодильная камера 6 расположена в емкости охлаждения 8, которая соединена с патрубком подачи охлаждающей воды 9 с вертикальной холодильной камерой 10 имеющей патрубок подачи охлаждающей воды 11 и патрубок слива отработанной воды 12.

Кроме того, шаровая холодильная камера 6 соединена патрубком слива эфирных масел 13 с приемной емкость 14, а также имеет клапан сброса высокого давления 15.

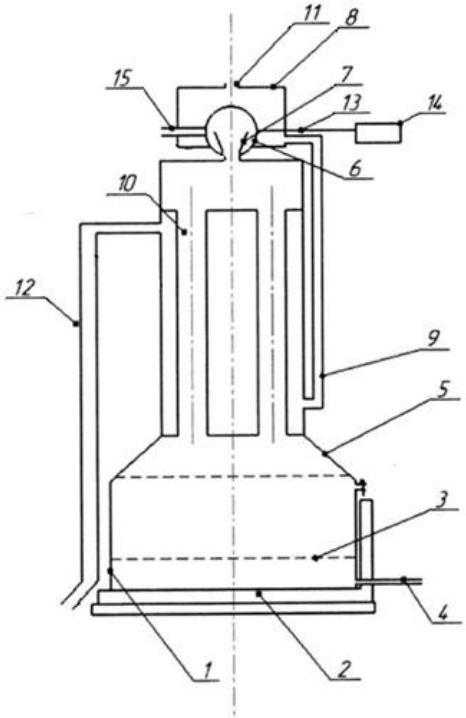


Рисунок 2 – Установка для экстракции побегов Vaccinium vitis-idaea

Figure 2 – Plant for the extraction of Vaccinium vitis-idaea shoots

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА С БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ДОБАВКАМИ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Хлеб является скоропортящимся продуктом, и неблагоприятные изменения в нем начинают проявляться сразу после выпечки. Эти процессы связаны как с частичной потерей влаги, т. е. черствением хлеба (без учета микроорганизмов), так и с развитием бактерий, плесени и дрожжей, поэтому на следующем этапе исследования была проанализирована хранимоспособность хлеба с добавлением водно-глицеринового экстракта из побегов брусники в количестве 6,5 - 8,5 % к массе пшеничной муки (образец 1-3).

Основной причиной экономических потерь от этого продукта является ухудшение качества, вызванное ретроградацией крахмала и грибками, которые влияют на срок годности, этот показатель качества изучался в течение 14 суток. Эксперимент показал, что добавление в хлеб из пшеничной муки 0,075 – 0,100 % к массе муки водно-глицеринового экстракта из побегов брусники позволяет увеличить срок его хранения как минимум в 2 раза. При использовании в технологии производства хлеба водно-глицериновый экстракт из побегов Vaccinium vitis-idaea способен увеличить срок годности хлеба. Анализ физико-химических показателей пшеничного хлеба с водно-глицериновым экстрактом побегов Vaccinium vitis-idaea, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели пшеничного хлеба
Table 1 – Physico-chemical parameters of wheat bread

Наименование показателей	Результаты анализа по примерам			
	Контрольный образец	Образец 1 8,5% водно- глицеринового экстракта из побегов брусники к массе муки	Образец 2 7,5% водно-глицеринового экстракта из побегов брусники к массе муки	Образец 3 6,5% водно- глицеринового экстракта из побегов брусники к массе муки
Влажность мякиша, %	47,0	48,3	47,0	47,2
Кислотность мякиша, град	3,5	4,5	4,5	4,5
Пористость, %	72,1	80,5	77,8	76,6
Удельный объем, см3/100 г	2,55	3,25	2,95	2,80
Формоустойчивость, H/D	0,44	0,41	0,45	0,43

Анализ таблицы 1 позволяет сделать вывод о том, что водно- глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaeaв количестве 7,5 % к массе муки способствует повышению удельного объема готового изделия, пористости, влажности кислотности по сравнению с контрольным образцом и образцами 1 и 3. Увеличение количества водно-глицеринового экстракта до 8,5 % к массе муки способствует снижению формоустойчивости хлеба, окрашиванию мякиша в темно-коричневый цвет и формированию выраженного запаха побегов брусники. При этом пустот и уплотнений не обнаружено ни в одном из образцов. Исходя из этого, оптимальным вариантом рецептуры пшеничного хлеба выбран вариант 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных научных и экспериментальных исследований была разработана технологическая схема производства пшеничного хлеба с внесением в рецептуру водно-глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaea.

Проведен патентный поиск по существующему оборудованию для экстракции биологически активных веществ из растительного сырья, что позволило разработать новую лабораторную установку для экстракции растительного сырья, авторские права защищены патентом на полезную модель РФ №194622.

Выполнены экспериментальные исследования по определению органолептических показателей качества пшеничного хлеба изготовленного по разработанной технологии с внесением в рецептуру хлеба водно-глицеринового экстракта из побегов Vaccinium vitis-idaea. Установлено, что использование водно-глицеринового экстракта из побегов брусники в количестве 7,5 % к массе пшеничной муки обеспечивает насыщение хлеба гликозидами, при чем гликозид арбутин, содержащийся вводно-глицериновом экстракте из побегов брусники с содержанием сухого вещества 12,0-13,5 %, действует на хлеб как консервант и предотвращает развитие плесени. Кроме того, при введении в рецептуру хлеба 7,5 % водно-глицеринового экстракта из побегов брусники его физико-химические показатели практически не отличаются от показателей хлеба, изготовленного без добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 58233-2018 Хлеб из пшеничной муки. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019. 15 с;

2. Козьмина, Н.П. Биохимия хлебопечения / Н.П. Козьмина // М: Пищевая промышленность, 1978. - 277 с;

3. Комплексные технологии и оборудование переработки дикорастущих ягод для производства пищевых продуктов зоны Арктики и северных территорий Красноярского края / Ж. А. Кох, В. Н. Невзоров, И. В. Мацкевич, В. Г. Крымкова // Парадигма устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях современных реалий: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию создания ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Красноярск, 24–26 мая 2022 года. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. С. 276-280.

4. Кох Ж. А., Невзоров В. Н., Мацкевич И. В. Модернизация лабораторной установки для исследования процессов экстракции растительного сырья // Научно-практические аспекты развития АПК: материалы национальной научной конференции, Красноярск. 2021. Т. 12. С. 64-67.

5. Кретович В.Л., Токарева Р.Р. Проблемы пищевой полноценности хлеба. -М.: Наука, 1978. -250 с.

6. Пащенко Л.П. Биотехнологические основы производства хлебобулочных изделий /Л.П. Пащенко. М.: Колос, 2002. 368 с.

7. Пономарев В.Д. Экстрагирование растительного сырья. М.: Медицина, 1976. 202 с.

8. Применение экстрактов дикорастущих растений в хлебобулочных изделиях функционального назначения / Е. С. Смертина, Л. Н. Федянина, Т. К. Каленик [и др.] // Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета. 2011. № 3(59). С. 129-133.

9. Веселова, А. Ю. Разработка технологии специализированных хлебобулочных изделий с использованием природных источников биологически активных веществ: специальность 05.18.01 "Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. Ю. Веселова. Москва, 2015. 219 с.

10. Патент № 2783969 C1 Российская Федерация, МПК A21D 13/02, A21D 2/36. Способ производства пшеничного хлеба: № 2021125998: заявл. 02.09.2021: опубл. 22.11.2022 / В. Н. Невзоров, И. В. Мацкевич, Ж. А. Кох, Д. С. Безъязыков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Красноярский государственный аграрный университет".

11. Патент на полезную модель № 194622 U1 Российская Федерация, МПК B01D 11/02. Лабораторная установка для экстракции растительного сырья: № 2019121828 :заявл. 09.07.2019 : опубл. 17.12.2019 / В. Н. Невзоров, Д. С. Безъязыков, И. В. Мацкевич, Ж. А. Кох ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Красноярский государственный аграрный университет".

Информация об авторах

В. Н. Невзоров – д.с-х.н., профессор, заведующий кафедрой технологии, оборудования бродильных и пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

И. В. Мацкевич – к.т.н., доцент кафедры технологии, оборудования бродильных и пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Ж. А. Кох – к.т.н., доцент кафедры технологии, оборудования бродильных и пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет.

Information about the authors

V. N. Nevzorov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of technology, equipment of fermentation and food production of FSBEI VO "Krasnoyarsk State Agrarian University".

I. V. Matskevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Technology, equipment of fermentation and food production of FGBOU VO "Krasnoyarsk State Agrarian University".

Zh. A. Kokh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology, equipment of fermentation and food production of FSBEI VO "Krasnoyarsk State Agrarian University".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 26 Feb 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 111–116.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 111–116.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.052
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.016 EDN: PULSCR

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРМЕНТИРОВАННОГО ПРОДУКТА НА СОЕВОЙ ОСНОВЕ

Светлана Дмитриевна Божко [1], Татьяна Анатольевна Ершова [2], Анна Николаевна Чернышова [3], Ирина Валерьевна Бояринева [4], Наталья Гаврошевна Ли [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

[1] bozhko.sd@dvfu.ru, https://orcid.org/0000-0002-9610-698X
[2] ershova.ta@dvfu.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-3996-9105
[3] chernyshova.an@dvfu.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-8546-2567
[4] boyarineva.iv@dvfu.ru, https://orcid.org/0000-0003-4791-884X
[5] li.ng@dvfu.ru, https://orcid.org/0000-0002-4643-2250

Аннотация*. При выборе ферментированного продукта на растительной основе потребитель в первую очередь обращает внимание на консистенцию готового продукта, его вкус и аромат. На рынке растительных ферментированных продуктов большой популярностью пользуются густые кремовые биопродукты. Целью исследования является изучение возможности применения различных стабилизаторов при производстве ферментированного биопродукта на растительной основе для получения продукта с однородной консистенцией без отделения сыворотки. Задачи исследования – определение необходимого количества вносимой добавки и отработка технологических режимов производства биопродукта на основе соевого молока, полученного из семян сои Приморской селекции. Сквашивание соевой основы проводили термостатным способом при температуре 40°С, до уровня pH 4,5-4,75. Для получения необходимой стабильной консистенции биопродукта необходимо использовать стабилизаторы. Изучена возможность применения следующих пищевых добавок: пектин цитрусовый (ТроПектин VIS 52), агар 1000, альгинат натрия 1000, а также комплексная добавка Авистол ASTM 260. Стабилизатор вводили в растительную основу на стадии нормализации перед гомогенизацией и тепловой обработкой. Наилучшая консистенция питьевого биопродукта достигается при применении комплексной добавки, включающей Авистол ASTM 260 и ТроПектин VIS 52 в количестве 2,0 и 0,35 %, соответственно, или Авистол ASTM 260 и Агар 1000 (Альгинат натрия 1000) в количестве 2,0 и 0,47 %, соответственно. Вкус растительных биопродуктов отличается от вкуса молочных продуктов. Соевое молоко, как основа ферментированного биопродукта, имеет специфические вкус и аромат. Для ароматизации готового биопродукта и получения кокосового вкуса добавляли 20%-ные кокосовые сливки и кокосовый ароматизатор. В результате проведенных исследований установлено, что текстура биопродукта зависит от вида и количества вносимой добавки, полученный биопродукт имеет консистенцию от жидкой до желеобразной. Определены необходимые концентрации вводимых стабилизаторов.*

Ключевые слова: *сорт сои Муссон, биопродукт на растительной основе, соевое молоко, ферментация, консистенция, загустители.*

Благодарности*: Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект №FZNS-2022-0012, тема проекта «Разработка отечественных технологий сухих смесей, обогащенных витаминными комплексами, омега жирными кислотами с пробиотической активностью для лечебного перорального питания, в т.ч., детей и больных стационаров, совместно с R&D центром и на базе высокотехнологичного предприятия ООО "Арника"».*

Для цитирования: Способ производства ферментированного продукта на соевой основе / С. Д. Божко [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 111 – 116. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.016, EDN: https://elibrary.ru/PULSCR.

© Божко С. Д., Ершова Т. А., Чернышова А. Н., Бояринева И. В., Ли Н. Г., 2024

Original article

METHOD OF PRODUCTION OF FERMENTED SOY-BASED PRODUCT

Svetlana D. Bozhko [1], Tatyana A. Ershova [2], Anna N. Chernyshova [3], Irina V. Boyarineva [4], Natalia G. Li [5]

[1, 3, 4, 5] Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

[1] bozhko.sd@dvfu.ru, https://orcid.org/0000-0002-9610-698X
[2] ershova.ta@dvfu.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-3996-9105
[3] chernyshova.an@dvfu.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-8546-2567
[4] boyarineva.iv@dvfu.ru, https://orcid.org/0000-0003-4791-884X
[5] li.ng@dvfu.ru, https://orcid.org/0000-0002-4643-2250

Abstract. *When choosing a fermented plant-based product, the consumer pays attention to the consistency of the finished product, its taste and aroma. Thick creamy bioproducts are very popular. The aim of the study is to study the possibility of using stabilizers to obtain a product with a homogeneous consistency without separating the serum. The objectives of the study are to determine the amount of the additive and to work out the technological modes of production of a bioproduct based on soy milk obtained from soybean seeds of Primorsky selection. The fermentation of the soy base was carried out by a thermostatic method at a temperature of 40 °C, to a pH level of 4.5-4.75. The possibility of using food additives has been studied: citrus pectin (TroPectin VIS 52), agar 1000, sodium alginate 1000, as well as the complex additive Avistol ASTM 260. The stabilizer was introduced into the plant base at the normalization stage. The best consistency is achieved when using a complex additive including Avistol ASTM 260 and TroPectin VIS 52 in an amount of 2.0 and 0.35 %, respectively, or Avistol ASTM 260 and Agar 1000 (Sodium Alginate 1000) in an amount of 2.0 and 0.47 %, respectively. To flavor the finished bio-product and obtain a coconut flavor, 20 % coconut cream and coconut flavor were added. As a result of the conducted research, it was found that the resulting bioproduct has a consistency from liquid to jelly-like. The necessary concentrations of the introduced stabilizers have been determined.*

Keywords: *soybean Monsoon variety, plant-based bio-product, soy milk, fermentation, consistency, thickeners.*

Acknowledgments: *The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project no. FZNS-2022-0012, the theme of the project is "Development of domestic technologies of dry mixtures enriched with vitamin complexes, omega fatty acids with probiotic activity for therapeutic oral nutrition, including children and hospital patients, together with R&D the center and on the basis of the high-tech enterprise LLC "Arnica".*

For citation: Bozhko, S. D., Ershova T. A., Chernyshova A. N., Boyarineva I. V. & Li, N. G. (2024). Method of production of fermented soy-based product. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 111-104. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.016. EDN: https://elibrary.ru/PULSCR.

ВВЕДЕНИЕ

Производство соевого молока и ферментированных продуктов на его основе в настоящее время становится все популярнее. Одним из факторов, влияющих на этот процесс – возросшее внимание к здоровому питанию. Соевые продукты являются хорошим источником растительного белка; витаминов, в том числе, жирорастворимых; минеральных веществ, особенно, кальция [1]. Соевое молоко выступает альтернативой коровьему молоку, а производство на его основе ферментированной продукции является перспективным [2, 3, 4]. Многими авторами проводятся исследования по частичной замене коровьего молока на соевое при выработке ферментированной продукции [5], обогащению кисломолочного продукта соевым компонентом [6, 7]. Качество ферментированных изделий на основе соевого молока определяется прежде всего их консистенцией, которая, в свою очередь, зависит от концентрации белка и, в целом, от содержания сухих веществ, количество которых можно повысить введением в состав рецептуры сухих ингредиентов [8]. Имеются данные по применению в качестве загустителей пектина яблочного в количестве 0,11-0,13 % [8, 9], агара в количестве 0,5 % [5], ксантановой камеди в количестве 0,005 – 0,01 % [4]. Введение стабилизаторов необходимо для увеличения вязкости биопродукта и прочности белкового сгустка, предупреждения отстаивания сыворотки в процессе хранения готового продукта.

Целью исследования стало изучение возможности использования различных стабилизаторов при производстве ферментированного биопродукта на растительной основе и получение соевого ферментированного продукта с ста-

бильной однородной не расслаивающейся консистенцией.

Задачи исследования: определить необходимое количество вносимой добавки при производстве биопродукта на основе соевого молока, полученного из семян сои Приморской селекции, и отработать технологический регламент производства соевого ферментированного продукта.

МЕТОДЫ

В качестве растительной основы для производства биопродукта использовано соевое молоко, вырабатываемое из высокобелкового сорта Муссон (Glycinemax (L.) Merr.) в Приморском крае [10]. Контролем является молоко соевое ферментированное без добавления стабилизатора. Процесс сквашивания проводили закваскими, рекомендуемыми для производства йогуртов: термофильная культура производства Христиан Хансен (Дания) серии YoFlex. Состав закваски: *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus, Streptococcus thermophilus* (YoFlex® Mild 1.0). Для получения стабильной текстуры биопродукта использовали следующие виды добавок: пектин цитрусовый (ТроПектин VIS 52), альгинат натрия 1000, агар 1000, а также комплексная добавка Авистол ASTM 260 (ТУ 9299 – 012 – 96140533 – 2013). Измерение показателя активной кислотности проводили анализатором активной кислотности pH-618. Органолептическую оценку готовой продукции проводили ГОСТ Р 70650-2023 «Напитки на растительной основе (из зерна, орехов, кокоса). Общие технические условия» [11]. Показатели качества сырья и готовых продуктов определяли в соответствии с ТР ТС 021/2011 [12], ТР ТС 029/2012 [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве сырья для получения соевого молока выбран высокобелковый сорт сои Муссон [9]. Соевое молоко получали по общепринятой технологии с замачиванием бобов сои в холодной воде [14]. Соевые бобы замачивали в воде при температуре 15-20 °С при гидромодуле 1:4 (соя : вода), продолжительность замачивания 8-10 часов. Далее промывали под проточной водой и затем заливали горячей водой (t=95-97 °С) при гидромодуле 1:5 с одновременным измельчением до размера частиц 180-190 мкм. Окару отпрессовывали, а экстракт соевого белка (соевое молоко) выдерживали при температуре 90-95 °С в течение 15 мин. При температуре соевого молока 60 °С добавляли порошковый антивспенивающий агент и продолжали нагрев до 90 °С.

Общая схема приготовления биопродукта на растительной основе включает следующие технологические операции: подготовка стабилизаторов, нормализация, гомогенизация, пастеризация смеси, охлаждение до температуры заквашивания, заквашивание, розлив, ферментация, охлаждение.

Сухие компоненты (сахар, Авистол и стабилизатор) взвешивали, перемешивали, соединяли с теплым соевым молоком при температуре 35-40 °С, оставляли для набухания смеси при постоянном перемешивании на 20-30 мин. Далее массу гомогенизировали при температуре 55-65 °С и давлении 15-18 МПа; пастеризовали при температуре 90-95 °С в течение 5-10 мин и охлаждали до температуры заквашивания 40 °С и вносили заквасочную культуру. Перемешивали смесь в течение 10-15 минут и фасовали в потребительскую тару. Процесс ферментации проводили термостатным способом при температуре 40 °С до pH 4,5-4,75, ориентировочное время ферментации составило 6 -7 часов.

На первом этапе исследований была поставлена задача подбора вида и количества стабилизирующей добавки для получения необходимой стабильной консистенции готового продукта, поскольку контрольный образец без стабилизатора имел жидкую консистенцию, слабый сгусток с ярко выраженным синерезисом. Введение в состав смеси стабилизаторов, обладающих высокой водосвязывающей способностью, необходимо для получения более вязкой структуры белкового сгустка и предотвращения отделения сыворотки в процессе ферментации и хранения соевого биопродукта.

Для стабилизации соевых ферментированных продуктов рекомендуется комплексная пищевая добавка Авистол ASTM 260, включающая крахмал модифицированный (Е1422), гуаровую камедь Е412 и ксантановую камедь Е415. Рекомендуемое количество для получения питьевого соевого ферментированного напитка составляет до 1,0 %, для десертных – от 1 до 2 %. Установлено, что добавление Авистола в образец соевого молока в количестве 2,0-2,5 % (к массе молока) улучшает структуру сгустка, но при хранении наблюдается отделение сыворотки.

Таким образом, внесение добавки Авистол ASTM 260 придает продукту плотную консистенцию, но не гарантирует стабильную структуру готового соевого продукта в процессе хранения.

Следовательно, в дальнейшем, была поставлена задача по улучшению стабильности консистенции соевого продукта в процессе хранения. Изучена возможность дополнительного введения следующих добавок, рекомендуемых для ферментированной продукции: пектин цитрусовый (ТроПектин VIS 52), агар 1000, альгинат натрия 1000. Цитрусовый пектин рекомендуется для стабилизации белка ферментированных напитков. Альгинат натрия, как стабилизатор, повышает вязкость продуктов, при взаимодействии с кальцием придает продукту желирующие свойства. Преимуществом Агара является его термостойкость и стабильность в кислых средах.

В образцы соевого молока перед сквашиванием вносили пектин в дозировках от 0,2 до 0,4 % от массы соевого молока, агар и альгинат натрия в количестве от 0,3 до 0,5 %. Полученные образцы соевых ферментированных продуктов были оценены методом профильного анализа, отмечено, что оптимальными являются варианты с дозировкой внесения пектина - 0,35 % к массе молока, агара и альгинат натрия – 0,47 %. Увеличение вносимого количества добавок выше этих значений приводит к получению продукта с более плотной, желеобразной консистенцией.

Пищевые соевые композиции с применением комплексных добавок, включающих Авистол ASTM 260 и ТроПектин VIS 52 в количестве 2,0 и 0,35 %, соответственно; Авистол ASTM 260 и Агар 1000 (Альгинат натрия 1000) в количестве 2,0 и 0,47 %, соответственно, имеют однородную текучую консистенцию, без комочков и синерезиса. Процесс кислотообразования в данных соевых композициях представлен на рисунке 1.

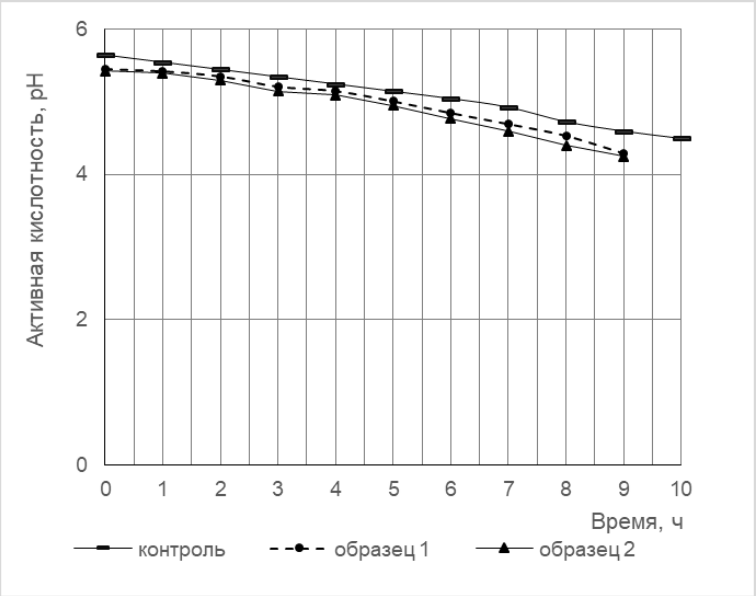


Рисунок 1 – Изменение показателя активной кислотности при ферментации соевой смеси (контроль – соевый продукт без использования стабилизатора, образец 1 – соевый продукт с добавлением стабилизаторов Авистола ASTM 260 – 2 % и пектина – 0,35 %, образец 2 – соевый продукт с добавлением стабилизаторов Авистол ASTM 260 - 2,0 % и Альгинат натрия 1000 – 0,47 %)

Figure 1 – Change in the active acidity index during fermentation of the soy mixture (control – soy product without the use of a stabilizer, sample 1 – soy product with the addition of stabilizers Avistol ASTM 260 – 2 % and pectin – 0.35 %, sample 2 – soy product with the addition of stabilizers Avistol ASTM 260 – 2.0 % and Sodium alginate 1000 – 0.47 %)

Результаты, представленные на рисунке 1, свидетельствуют о незначительном влиянии стабилизаторов на уровень нарастания кислотности. Оба образца характеризуются умеренным нарастанием кислотности.

На основании экспериментальных исследований можно сделать вывод, что данные виды стабилизаторов и дозировки их внесения можно рекомендовать для производства ферментированного продукта на растительной основе (соевом молоке). Соевое молоко имеет специфический вкус и запах, поэтому, на втором этапе работы необходимо было улучшить вкусовые и ароматические показатели готового продукта. Для улучшения данных органолептических показателей в состав смеси в период нормализации вносили 20 %-ные кокосовые сливки в количестве 10 % от массы молока и кокосовый ароматизатор. Органолептические характеристики соевых ферментированных продуктов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества соевых ферментированных продуктов

Table 1 – Quality indicators of fermented soy products

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид и консистенция	Для соевого десертного продукта – непрозрачная, однородная, с ненарушенным сгустком. Для соевого напитка – непрозрачная, однородная, в меру вязкая, без отделения сыворотки.
Вкус и запах	Чистые с привкусом и ароматом кокосового молока
Цвет	Белый с кремовым оттенком, однородный

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что консистенция ферментированного растительного продукта зависит от вида и количества вносимой добавки и варьируется от жидкой до желеобразной. В работе определены необходимые концентрации вводимых стабилизаторов для ферментированного продукта на основе соевого молока. Рекомендуемое количество вносимой добавки Авистол ASTM 260 для питьевого ферментированного продукта на соевой основе – до 1 %, для десертного соевого биопродукта – от 1 до 2 %.

Количество пектина необходимо вносить в нормализованную смесь в дозировке 0,35 % от массы соевого молока, а агара и альгината натрия – в количестве 0,47 %. Полученные образцы соевых ферментированных биопродуктов имели приятный вкус и аромат, консистенцию однородную, без отделения сыворотки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартышенко Н.С. Маркетинговые исследования рынка молочной продукции Приморского края // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2019. Т.8. №2(27). С. 247- 250.

2. Мировой рынок соевого молока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://research-center.ru/mirovoj-rynok-soevogo-moloka/?ysclid=ljp17ot563403109871 (дата обращения 05.07.2023).

3. Анализ рынка молока растительного в России [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/soy-milk-market (дата обращения 20.06.2023).

4. A.Y. Tamime, R.K. Robinson. Traditional and recent developments in yoghurt production and related products. Tamime and Robinson's Yoghurt (Third Edition) Science and Technology. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2007. P. 348-467.

5. Боронова А.В. Применение соевого сырья в технологии сквашенного продукта // Вестник молодежной науки АГАУ. Барнаул. 2020. С. 92-95.

6. Решетник Е.И., Уточкина Е.А., Хунпен Ли, Пенцзинь Ван. Соевый компонент в традиционных рецептурах кисломолочных напитков // Вестник ВСГУТУ. 2021. №1(80). С.21-28.

7. Кудзиева Ф.Л. Повышение качества кисломолочных продуктов на соевой основе // Известия вузов. Пищевая технология. 2007. № 1. С. 41-43.

8. Темираев Р.Б., Тер-Терьян Н.Г., Тедтова В.В., Кокаева М.Г., Нетребко К.В. Способ получения пробиотического кисломолочного продукта на основе соевого молока // Патент № 2385565. Опубликовано: 10.04.2010. Бюл. №10. МПК: A23C 9/12 (2006.01), A23C 11/00 (2006.01).

9. Божко С.Д., Ершова Т.А., Чернышова А.Н., Ли Н.Г., Синотрусова Т.А. Перспективы применения сои при создании высокобелковых специализированных напитков // Вестник КрасГАУ. 2023. №7. С. 219–227.

10. Егорова Е. Ю. «Немолочное молоко»: обзор сырья и технологий // Ползуновский Вестник. № 3. 2018. С. 25-34.

11. ГОСТ Р 70650-2023 «Напитки на растительной основе (из зерна, орехов, кокоса). Общие технические условия».

12. ТР ТС 021/2011«О безопасности пищевой продукции» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/902320560 (дата обращения 20.06.2023).

13. ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств».

14. Грачева Н.В., Голованчиков А.Б., Дулькина Н.А., Храмцова Е.Ю., Тупикин Е.В. Способ изготовления соевого молока / Патент № 2260980. Опубликовано: 27.09.2005. Бюл. № 27. МПК: A23C 11/10(2006.01, A23J 3/16(2006.01), A23L 1/20(2006.01).

Информация об авторах

С. Д. Божко – к.т.н., доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии факультета агропищевых биотехнологий и пищевой инженерии Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

Т. А. Ершова – к.т.н., заведующий базовой кафедрой пищевой и клеточной инженерии факультета агропищевых биотехнологий и пищевой инженерии Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

А. Н. Чернышова – доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии факультета агропищевых биотехнологий и пищевой инженерии Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

И. В. Бояринева – д.т.н., профессор базовой кафедры «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

Н. Г. Ли – к.т.н., доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии факультета агропищевых биотехнологий и пищевой инженерии Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

REFERENCES

1. Martyshenko N.S. (2019). Marketing research of the dairy products market of Primorsky Krai. Azimut of scientific research: economics and management. 8. 2(27). 247-250. (In Russ.).

2. The world market of soy milk (2023). Access mode: https://research-center.ru/mirovoj-rynok-soevogo-moloka /?ysclid=ljp17ot563403109871. (In Russ.).

3. Analysis of the vegetable milk market in Russia (2023). Access mode: https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/soy-milk-market. (In Russ.).

4. Tamime, A.Y. & Robinson. (2007). Traditional and recent developments in yoghurt production and related products. Tamime and Robinson's Yoghurt (Third

Edition) Science and Technology. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 348-467. (In Russ.).

5. Boronova A.V. (2020). The use of soy raw materials in the technology of fermented product. Bulletin of Youth Science of ASAU. Barnaul. 92-95. (In Russ.).

6. Reshetnik, E.I., Utochkina, E.A., Hongpeng, Li, Penjin Wang. (2021). Soy component in traditional formulations of fermented milk drinks. Bulletin of VSGUT. No.1(80). pp. 21-28. (In Russ.).

7. Kudzieva F.L. (2007). Improving the quality of fermented dairy products based on soy. Izvestiya vuzov. Food technology. (1). 41-43. (In Russ.).

8. Temiraev, R.B., Ter-Teryan, N.G., Tedtova, V.V., Kokaeva, M.G. & Netrebko, K.V. (2010). Method of obtaining a probiotic fermented milk product based on soy milk. Patent No. 2385565. Published: 04/10/2010. Issue No.10. IPC: A23C 9/12 (2006.01), A23C 11/00 (2006.01). (In Russ.).

9. Bozhko, S.D., Ershova, T.A., Chernyshova, A.N., Li, N.G. & Cenotrusova, T.A. (2023). Prospects for the use of soy in the creation of high-protein specialty drinks // Bulletin of KrasGAU. 7. 219-227. (In Russ.).

10. Egorova, E. Yu. (2018). "Non-dairy milk": a review of raw materials and technologies. Polzunovskiy vestnik. 3. 25-34. (In Russ.).

11. GOST R 70650-2023 (2023). "Plant-based beverages (from grain, nuts, coconut). General technical conditions". (In Russ.).

12. TR CU 021/2011 (2011). "On food safety. Access mode: https://docs.cntd.ru/document/902320560. (In Russ.).

13. TR CU 029/2012 (2012). "Safety requirements for food additives, flavorings and technological aids".(In Russ.).

14. Gracheva N.V., Golovanchikov A.B., Dulkina N.A., Khramtsova E.Yu. & Tupikin E.V. (2006). Method of making soy milk / Patent No. 2260980. Published: 09/27/2005. Issue No. 27. IPC: A23C 11/10(2006.01, A23J 3/16(2006.01), A23L 1/20(2006.01). (In Russ.).

Information about the authors

S. D. Bozhko, Ph.D., Associate Professor, Basic Department of Food and Cell Engineering, Faculty of Agro-Food Biotechnologies and Food Engineering, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", Far Eastern Federal University.

T. A. Ershova, Ph.D., Head of the Basic Department of Food and Cellular Engineering, Faculty of Agro-Food Biotechnologies and Food Engineering, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", Far Eastern Federal University.

A. N. Chernyshova, Associate Professor of the Basic Department of Food and Cellular Engineering of the Faculty of Agro-Food Biotechnologies and Food Engineering of the Advanced Engineering School of the Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems, Far Eastern Federal University.

I. V. Boyarineva, Doctor of Technical Sciences, Professor of the basic department of "Bioeconomics and Food Security" of the Innovative Technology Center of the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", Far Eastern Federal University.

N. G. Li, Ph.D., Associate Professor of the Basic Department of Food and Cell Engineering of the Faculty of Agro-Food Biotechnologies and Food Engineering of the Advanced Engineering School of the Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems, Far Eastern Federal University.

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

Статья поступила в редакцию 28 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 28 Mar 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 117–120.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 117–120.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.8
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.017 EDN: OPJSRF

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДСЫРНОЙ ОБЛЕПИХОВОЙ СЫВОРОТКИ

Елена Николаевна Дружечкова [1], Надежда Александровна Величко [2], Вера АлександровнаХанипова [3], Екатерина Николаевна Аёшина [4]

[1, 2, 3] Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
[4] Сибирский государственный университет науки технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

[1] 79135346628@yandex.ru
[2] vena@kgau.ru
[3] 2472596@mail.ru
[4] sibsau.ru@mail.ru

Аннотация. *Для улучшения качественных характеристик продукта, придания оригинальных органолептических свойств в технологических процессах производства сыра и сырных продуктов производители все чаще стали использовать различные добавки растительного происхождения, в том числе ягодные, которые способствуют обогащению продукта функциональными компонентами. Объектом исследования служила подсырная облепиховая сыворотка, полученная при производстве сыра с добавлением верхней части сока дикорастущих плодов облепихи.*

В статье приведены результаты биохимического состава подсырной сыворотки, полученной в результате получения сыра полутвердых сортов с добавлением верхней части сока облепихи, которая использовалась для обогащения сыра физиологически значимыми компонентами, содержащимися в ней, расширения ассортимента, придания оригинальных органолептических показателей продукту.

Исследование химического состава подсырной облепиховой сыворотки показало, что белка содержится 0,156 %, лактозы 3,77 %, кислотность 11,50 °Т. Аминокислотный состав белка представлен всеми незаменимыми аминокислотам, однако их содержание значительно ниже по сравнению с таковым в идеальном белке. Из незаменимых аминокислот больше всего содержится лейцина, изолейцина (0, 4850 м.д. в 100 мг) и треонина (0,6368м.д. в 100 мг). Содержание зольных веществ составило 0,58 %. В элементном составе зольных веществ обнаружены в больших количествах натрий, калий, кальций, магний, фосфор.

Установлено, что подсырная облепиховая сыворотка, образующаяся в результате получения сыра с добавлением сока плодов облепихи, является сырьем, содержащим физиологически значимые компоненты, и может быть использована в качестве основы в производстве продукции пищевой и кормовой направленности.

Ключевые слова: *сок, облепиха, подсырная сыворотка, химический состав, содержание, белок, кислотность, аминокислоты, минеральные элементы.*

Для цитирования: Дружечкова Е. Н., Величко Н. А., Ханипова В. А., Аёшина Е. Н. Биохимический состав подсырной облепиховой сыворотки // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 117 – 120. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.017, EDN: https://elibrary.ru/OPJSRF.

Original article

BIOCHEMICAL COMPOSITION OF WHEY SEA BUCKTHORN WHEY

Elena N. Druzhechkova [1], Nadezhda A.Velichko [2], Vera A. Khanipova [3], Ekaterina N. Ayoshina [4]

[1, 2, 3] Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[4] Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

[1] 79135346628@yandex.ru

© Дружечкова Е. Н., Величко Н. А., Ханипова В. А., Аёшина Е. Н., 2024

[2] vena@kgau.ru
[3] 2472596@mail.ru
[4] sibsau.ru@mail.ru

Abstract. *To improve the qualitative characteristics of the product, to give original organoleptic properties in the technological processes of cheese and cheese products, manufacturers have increasingly begun to use various additives of plant origin, including berry, which contribute to the enrichment of the product with functional components. The object of the study was served as a cheesy sea buckthorn whey obtained during the production of cheese with the addition of the upper part of the juice of wild sea buckthorn fruits. The article presents the results of the biochemical composition of cheese whey obtained as a result of obtaining cheese of semi-hard varieties with the addition of the upper part of sea buckthorn juice, which was used to enrich the cheese with physiologically significant com-ponents contained in it, expanding the assortment, giving original organoleptic indicators to the product.The article presents the results of biochemical composition of whey obtained as a result of obtaining semi-hard cheese with the addition of the upper part of sea buckthorn juice, which was used to enrich the cheese with physiologically significant components contained in it, expanding the range, giving original organoleptic indicators to the product.*

The study of the chemical composition of raw sea buckthorn whey showed that the protein content was 0.156%, lactose 3.77%, acidity 11.50°T. Amino acid composition of protein is represented by all essential amino acids, but their content is much lower compared to that in ideal protein. Of the essential amino acids, leucine, isoleucine (0.4850 m.d. in 100 mg) and threonine (0.6368 m.d. in 100 mg) are the most abundant. The content of ash substances amounted to 0.58 %. In the elemental composition of ash substances sodium, potassium, calcium, magnesium, phosphorus were found in large amounts.

It has been established that sea buckthorn whey, formed as a result of cheese production with the addition of sea buckthorn fruit juice, is a raw material containing physiologically significant components and can be used as a base in the production of food and feed products.

Keywords: *juice, sea buckthorn, whey, chemical composition, content, protein, acidity, amino acids, mineral elements.*

For citation: Druzhechkova, E.N, Velichko, N.A. & Khanipova, V.A & Ayoshina, E.N. (2024). Biochemical composition of whey sea buckthorn whey. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 117-120. (In Russ). doi: 710/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.017. EDN: https://elibrary.ru/OPJSRF.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск направлений безотходной переработки молочного сырья остается актуальным вопросом. При технологической переработке молока на сыр, творог, остается большое количество сыворотки [1-2]. В настоящее время сыворотка реализуется как самостоятельный продукт, так и используется для получения лактозы и ряда других продуктов [2-11]. Использование сыворотки в качестве сырьевой основы для получения ряда пищевых продуктов ограничивается невысокими органолептическими показателями и ограниченными сроками хранения. В связи с чем, разработка рецептур новых видов продуктов на ее основе остаются значимыми [3].

По химическому составу молочная сыворотка содержит ценные физиологически значимые вещества. При производстве сыров в сыворотку трансформируется от 88 до 94 % молочного сахара, 20-25 % протеина, 6-12 % жира, 59-65 % минеральных веществ, водо- и жирорастворимые витамины [3].

В настоящее время предлагаются различные направления её использования [4-13]. Однако проблема полного и рационального применения молочной сыворотки не решена как в Российской Федерации**,** так и за ее пределами. В современных технологиях сыра все чаще стали применять различные растительные добавки, в том числе ягодные, которые изменяют вкусовые ощущения, обогащают продукт функциональными компонентами. Для оценки направлений использования вторичного продукта, образующегося при производстве сыра - подсырной сыворотки, обогащенной функционально значимыми компонентами, содержащимися в облепиховом соке, необходимо знание ее химического состава.

Целью исследования было изучение химического состава подсырной облепиховой сыворотки для ее дальнейшего квалифицированного применения.

Задачи исследования:

- установление количественного содержания белка;
- определение аминокислотного состава;
- изучение минерального состава подсырной облепиховой сыворотки.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужила подсырная облепиховая сыворотка, полученная при производстве сыра с добавлением верхней части сока дикорастущих плодов облепихи. Определение содержания белка в подсырной сыворотке проводили методом Кьельдаля [14]. Компонентный состав зольных элементов определяли согласно ГОСТ 30178-96. Аминокислотный состав белка исследовали методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель -105М». Обра-

ботка полученных результатов проводилась методом математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований химического состава подсырной облепиховой сыворотки показали, что в ней содержание белка составило 0,156 % а.с.м., лактозы 3,77 % а.с.м., минеральных веществ – 0,58 % а.с.м. Кислотность – 11,5 °Т. Минеральный состав облепиховой сыворотки представлен в таблице 1.

Согласно полученным результатам (табл. 2), в анализируемом образце определены физиологически значимые элементы: калий (1710,00 мг/кг), натрий (2114,00 мг/кг), кальций (644,10 мг/кг), магний (112,800 мг/кг), фосфор (209,100 мг/кг).

Состав аминокислот белка подсырной облепиховой сыворотки представлен в таблице 2.

Таблица 1 – Минеральный состав облепиховой сыворотки
Table 1 – Mineral composition of sea buckthorn serum

Наименование элемента	Содержание, мг/кг
	сыворотка
Магний	112,800
Калий	1710,000
Кальций	2376,000
Цинк	644,100
Свинец	0,396
Никель	0,0206
Железо	0,690
Марганец	0,089
Медь	0,168
Кобальт	0,066
Хром	0,430
Кадмий	0,027
Натрий	2114,000
Фосфор, мг/100г	209,100

Таблица 2 – Аминокислотный состав белка подсырной облепиховой сыворотки
Table 2 – Amino acid composition of sea buckthorn whey protein

Наименование аминокислоты	Содержание, м.д. в 100 мг	
	экспериментальные данные	в эталонном белке
Лизин	0,0958	5,5
Фенилаланин	0,0902	6
Лейцин+изолейцин	0,4850	11
Валин	0,2270	5,0
Пролин	0,4220	-
Треонин	0,6368	4,0
Серин	0,2840	-
Аланин	0,2084	-
Глицин	0,0911	-
Глутаминовая кислота+глутамин	0,8578	-
Аспарагиновая кислота+аспарагин	0,1585	-
Триптофан	0,0110	1,0
Метионин (+цистеин)	0,0770	2,3
Тирозин	0,07124	-

Установлено (табл. 3) в составе белка подсырной облепиховой сыворотки содержание всех незаменимых аминокислот, однако их содержание значительно ниже по сравнению с таковым в идеальном белке.

На основании анализа химического состава сыворотки следует, что она является источником для получения пищевых и кормовых продуктов.

ВЫВОДЫ

Установлен химический состав подсырной облепиховой сыворотки. Определено содержания лактозы (3,77 %), зольных веществ (0,58 %), белка (0,156 %) в подсырной облепиховой сыворотке. Исследован ее аминокислотный состав белка, в состав которого входят все незаменимые аминокислоты.

Изучен компонентный состав зольных ве-

ществ подсырной облепиховой сыворотки.

Полученные результаты исследований подтверждают, что подсырная облепиховая сыворотка является сырьем, содержащим физиологически значимые компоненты, и может быть использована в качестве основы в производстве продукции пищевой и кормовой направленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храмцов А.Г., Василисин С.В. Технолога молочного производства. Продукция из обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки : справочник. Санкт-Петербург : ГИОРД. 2004. Т. 5. 576 с.

2. Переработка сыворотки // Dairy processing handbook : сайт. URL: https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ru/chapter/pererabotka-syvorotki.

3. Арсеньева Т.П. Безотходные технологии отрасли : учеб.-метод. пособие. Санкт-Петербург : НИУ ИТМО ; ИХиБТ, 2014. 37 с.

4. Молочная сыворотка / А. Г. Храмцов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Агропромиздат, 2017. 239 с.

5. Остроумов Л.А. О составе и свойствах молочной сыворотки // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 8. С. 47.

6. Храмцов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки : учеб. пос. – Москва . 2018. 588 с.

7. Сенкевич Т., Ридель К.Л. Молочная сыворотка, переработка и использование в агропромышленном комплексе : пер. с нем. Москва : Агропромиздат, 2020.

8. Семенова А.А. Пищевая и биологическая ценность молочной сыворотки // Актуальные исследования. 2023. № 1. С. 10-12. URL: https://apni.ru/article/5312-pishchevaya-i-biologicheskaya-tsennost-moloch.

9. Шевелев К. Сыворотка – ценный субпродукт // Молочная промышленность. 2005. № 1. С. 60–61.

10. Коротецкая Н.С. Современное состояние и перспективные направления переработки молочной сыворотки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 4. С. 1–5.

11. Кравченко Э.Ф., Яковлева О.А. Рациональное использование молочной сыворотки // Пищевая промышленность. 2007. № 7. С. 42–44.

12. Пищевая и биологическая ценность молочной сыворотки // Актуальные исследования. 2023. № 1. URL: https://apni.ru/article/5312-pishchevaya-i-biologicheskaya-tsennost-moloch.

13. Ушанова В.М., Лебедева О.И., Девятловская А.М. Основы научных исследований. Красноярск : Изд-во СибГТУ, 2004. 335 с.

Информация об авторах

Е. Н. Дружечкова – аспирант кафедры технологии консервирования и пищевой биотехнологии Института пищевых производств ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет.

Н. А. Величко – д.т.н., профессор, зав. кафедрой кафедры технологии консервирования и пищевой биотехнологии Института пищевых производств ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет.

В. А. Ханипова – д.б.н., доцент, директор НИИЦ, ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет.

Е. Н. Аёшина – к.т.н., доцент кафедры инженерной графики ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет имени академика М.Ф. Решетнёва.

REFERENCES

1. Khramtsov A.G., Vasilisin S.V. (2004). Technologist of dairy production. Products from skim milk, buttermilk and whey : a reference book. St. Petersburg : GIORD. T. 5. 576 c. (In Russ.).

2. Whey processing (2023). Dairy processing handbook : website. - URL: https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ru/chapter/pererabotka-syvorotki. (In Russ.).

3. Arsenieva T.P. (2014). Waste-free industry technologies : textbook. Saint-Petersburg : NIU ITMO ; IKhIBT, 37 c. (In Russ.).

4. Milk whey (2017). A. G. Khramtsov. - 2nd ed., revision and addendum. Moscow : Agropromizdat, 239 c. (In Russ.).

5. Ostroumov L.A. (2017). About the composition and properties of whey. Storage and processing of agricultural raw materials.. 8. C. 47. (In Russ.).

6. Khramtsov A.G., Nesterenko P.G. (2018). Technology of products from dairy whey : study guide. Moscow . 588 c. (In Russ.).

7. Senkevich T., Riedel K.L. (2020). Milk whey, processing and use in agro-industrial complex : per. from German. Moscow : Agro-Promizdat, (In Russ.).

8. Semenova A.A. (2023). Nutritional and biological value of milk whey. Actual researches. 1. 10-12. URL: https://apni.ru/article/5312-pishchevaya-i-biologicheskaya-tsennost-moloch. (In Russ.).

9. Shevelev K. (2005). Whey - a valuable subproduct. Dairy Industry. № 1. C. 60-61. (In Russ.).

10. Korotetskaya N.S. (2012). Modern state and promising directions of processing of milk whey. Actual problems of humanities and natural sciences. 4. 1-5. (In Russ.).

11. Kravchenko E.F., Yakovleva O.A. (2007). Rational use of dairy whey. Food industry. 7. 42-44. (In Russ.).

12. Nutritional and biological value of whey. (2023). Actual researches. 1. URL: https://apni.ru/article/5312-pishchevaya-i-biologicheskaya-tsennost-moloch. (In Russ.).

13. Ushanova V.M., Lebedeva O.I. (2004). Devyatlovskaya A.M. Fundamentals of scientific research. Krasnoyarsk: SibGTU Publishing House, 335 c. (In Russ.).

Information about the authors

E. N. Druzhechkova - postgraduate student of the Department of canning technology and food biotechnology of the Institute of Food Production, Krasnoyarsk State Agrarian University.

H. A. Velichko - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Canning Technology and Food Biotechnology, Institute of Food Production, Krasnoyarsk State Agrarian University.

V. A. Khanipova - Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director of Research and Development Center, Krasnoyarsk State Agrarian University.

E. N. Ayoshina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Engineering Graphics Department, Siberian State University named after Academician M.F. Reshetnev.

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

Статья поступила в редакцию 23 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 23 Feb 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 121–127.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 121–127.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.87
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.018 EDN: IIRZMM

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ВИТАМИНИЗИРОВАННЫХ ЗАВТРАКОВ СУХИХ ГОТОВЫХ

Сергей Николаевич Кравченко [1], Ирина Юрьевна Резниченко [2]

[1, 2] ФГБОУ ВО Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полецкова, Кемерово, Россия
[1] k-sn@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4537-3663
[2] irina.reznichenko@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7486-4704

Аннотация. *На Российском потребительском рынке сухих завтраков в последнее время отмечается рост объемов производства, что требует от производителей поиска новых решений по расширению ассортимента продукции с учетом современного потребительского спроса. Важным требованием является качество и безопасность выпускаемой продукции в том числе продукции обладающей функциональной направленностью или повышенной пищевой ценностью. Проведенные исследования связаны с анализом опасных факторов в технологии производства завтраков сухих витаминизированных для исключения рисков, влияющих на качество и безопасность готового продукта. В работе рассмотрена технология производства, разработанного гранулированного сухого готового завтрака обогащенного на основе ягод голубики. Представлена информация о продукте, его составе, свойствах, отличительных характеристиках. Приведены контролируемые параметры, осуществляемые на стадиях технологического процесса. Осуществлен анализ опасных факторов и определенны предупреждающие действия для каждой технологической операции. Определены риски негативно отражающиеся на безопасности продукции на технологических операциях: приемка сырья (ягоды голубики), сушка ягод, экстракция, сушка шрота, упаривание, гранулирование. На данных стадиях возможны биологические риски (появление плесени, наличие сельскохозяйственных вредителей), представляющие угрозу для безопасности конечного продукта и требующие установления контроля над ними и химические риски, связанные с разрушением витамина С и биологически активных веществ при повышении температуры выше 55 °С. На основе анализа рисков предложен рабочий план ХАССП и описаны критические контрольные точки, позволяющие исключить риски с высокой вероятностью в технологическом процессе.*

Ключевые слова: *завтраки сухие, технология сухих завтраков, ХАССП, управление рисками, безопасность, качество, критические контрольные точки, плодово-ягодное сырье, ягоды голубики, концентрированные плодово-ягодные экстракты.*

Для цитирования: Кравченко С. Н., Резниченко И. Ю. Управление рисками в производстве витаминизированных завтраков сухих готовых // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 121 – 127. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.018, EDN: https://elibrary.ru/IIRZMM.

Original article

RISK MANAGEMENT IN PRODUCTION OF VITAMINIZED BREAKFAST POWDERS

Sergey N. Kravchenko [1], Irina Yu. Reznichenko [2]

[1, 2] Kuzbass State Agricultural University, Kemerovo, Russia
[1] k-sn@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4537-3663
[2] irina.reznichenko@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7486-4704

Abstract. *The Russian consumer market of breakfast cereals has recently seen an increase in production volumes, which requires manufacturers to find new solutions to expand the range of products taking into account modern consumer demand. An important requirement is the quality and safety of manufactured products, including products with a functional focus or increased nutritional value. The research carried out is related to the analysis of hazardous factors in the production technology of fortified breakfast cereals to eliminate risks affecting the quality and safety of the finished product. The work examines the production technology of the developed granulated dry*

© Кравченко С. Н., Резниченко И. Ю., 2024

breakfast cereal enriched with blueberries. Information about the product, its composition, properties, and distinctive characteristics is provided. The controlled parameters carried out at the stages of the technological process are given. An analysis of hazardous factors was carried out and preventive actions were determined for each technological operation. Risks that negatively affect product safety during technological operations have been identified: acceptance of raw materials (blueberries), drying of berries, extraction, drying of meal, evaporation, granulation. At these stages, biological risks are possible (the appearance of mold, the presence of agricultural pests), which pose a threat to the safety of the final product and require control over them, and chemical risks associated with the destruction of vitamin C and biologically active substances when the temperature rises above 55 ° C. Based on the risk analysis, a HACCP work plan is proposed and critical control points are described to eliminate high-probability risks in the technological process.

Keywords: *breakfast cereals, technology of breakfast cereals, HACCP, risk management, safety, quality, critical control points, fruit and berry raw materials, blueberries, concentrated fruit and berry extracts.*

For citation: Kravchenko S. N., Reznichenko I. Yu. (2024). Risk management in the production of vitaminized breakfast powders. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 121-127. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.018. EDN: https://elibrary.ru/IIRZMM.

ВВЕДЕНИЕ

Российский потребительский рынок завтраков сухих в настоящее время характеризуется наращиванием объемов производства. Динамика внутреннего производства показывает, что среднегодовой темп роста к 2027 году составит около 6,5% [1]. Положительная тенденция развития рынка связана с рядом факторов: изменение экономической ситуации в России, уход иностранных компаний и сокращение импортных поставок, ориентация экспорта в адрес казахского, китайского, афганского и белорусского рынков, рост спроса потребителей на продукты быстрого приготовления с добавленной пищевой ценностью [2].

Лидером по производству сухих завтраков является Центральный федеральный округ с долей более 32%, на втором месте Сибирской ФО с долей более 23%. Также отмечается, что структура экспорта сухих завтраков по странам будет увеличиваться, что требует от производителей поиска новых решений по расширению ассортимента продукции с учетом требований современных потребителей [2]. Важным требованием является качество и безопасность выпускаемой продукции. Особенностью продукции обладающей функциональной направленностью или повышенной пищевой ценностью является дополнительные требования к ее характеристикам, по которым продукция идентифицируется и имеет отличительные особенности [3, 4].

Завтраки сухие становятся популярными, тесно связаны со статусом молодого населения и современные технологии направлены на разработку продукции богатой питательными веществами и привлекательными потребительскими достоинствами, одним из которых является быстрота приготовления [5]. В Кузбасском ГАУ им. В.Н. Полецкова разрабатываются гранулированные завтраки сухие готовые к употреблению на основе плодово-ягодного сырья. Одним из продуктов является сухой готовый завтрак обогащенный, в состав которого входят продукты переработки ягоды голубики. В связи с новизной способа производства завтрака сухого готового витаминизированного и ввода продукции в производство необходима система контроля качества и безопасности, учитывающая специфику технологического процесса производства и свойства готового продукта [6].

Концепция, позволяющая выявить риски и управлять опасными факторами в производстве, доказала свою эффективность и является обязательной для всех видов продукции на любом предприятии [7, 8].

В связи с вышеизложенным **цель работы** заключалась в анализе опасных факторов в технологии производства завтраков сухих витаминизированных для исключения рисков, влияющих на качество и безопасность готового продукта.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования служили завтраки сухие готовые витаминизированные, технологический процесс приготовления, элементы СМБПП (система менеджмента безопасности пищевых продуктов).

В качестве методов применяли методы систематизации и обобщения, исследования проводили согласно требований ГОСТ Р 51705.4-2001, ГОСТ Р ИСО 22000-2019. Поиск критических контрольных точек с потенциальным влиянием на безопасность продукта выполнен с помощью построения матрицы «Вероятность возникновения- тяжесть последствий». Оценка установленных рисков для всех потенциальных опасностей (степень вероятности реализации риска и тяжесть возможных последствий) проведена с применением метода анализа рисков по ГОСТ Р 51705.4-2001 [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для управления рисками в производстве завтраков сухих готовых в первую очередь, необходима информация о продукте, его составе, свойствах, отличительных характеристиках. В таблице 1 приведена информация о продукте.

Таблица 1 - Информация о продукте

Table 1 - Product Information

Показатель	Характеристика
Вид продукции	Завтраки сухие готовые витаминизированные
Состав продукта	Мука овсяная, ягоды голубики, сахар белый, сыворотка сухая подсырная, крахмал картофельный, премикс «Валетек-3»
Нормируемые характеристики	Органолептические показатели: *Гранулят:* Внешний вид и консистенция (однородная сыпучая масса с частицами в виде гранул размером 1,0–3,0 мм. Допускаются неплотно слежавшиеся комочки; цвет (бордовый, однотонный); запах (свойственный овсяной муке и ягодам голубики). *Готовый завтрак*: Внешний вид и консистенция (Вязкая однородная масса с мелкими включениями овсяной крупы и плодовой мякоти); цвет (свойственный используемому виду плодово-ягодного сырья); вкус и запах (кисло-сладкий, соответствующий использованному сырью, без постороннего привкуса и запаха). Физико-химические показатели: -Массовая доля влаги - не более 9,0%; -Массовая доля металлических примесей, мг/кг. - не более 3,0; -массовая доля посторонних примесей, % - не допускается; -время приготовления, с. - не более 40; -массовая доля аскорбиновой кислоты, мг/100г.- 20,0 - 30,0 -Гранулометрический состав: – остаток на сите 1,0 мм, %, не более 98,0 – остаток на сите 3,0 мм, %, не более 0,5. Показатели безопасности (по ТР ТС 021/2011): B.cereus, не допускаются в массе продукта, (г) - 0,1 Плесени, КОЕ/г, не более 50. Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), не допускаются в массе продукта (г) - 1,0 Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более 1х104
Назначение продукта	Для всех категорий потребителей
Индивидуальная упаковка продукта	Пакеты бумажные, пакеты из комбинированных материалов, флоупак, дой-пак
Транспортирование продукта	Продукт транспортируют специализированными транспортными средствами в соответствии с правилами перевозки грузов, действующих на транспорте конкретного вида.
Сроки и условия хранения	Продукт хранят при температуре (18±3ºС), относительной влажности воздуха не выше 75%, 6 месяцев.
Маркировка продукта	В соответствии с ТР ТС 022/2011: наименование продукции; наименование и местонахождение изготовителя; наименование организации, принимающей претензии от потребителей; масса нетто продукта; состав продукта; пищевая и энергетическая ценность; продукт с высоким содержанием витамина С и биофлавоноидов; дата изготовления; срок хранении; способ приготовления; документ, в соответствии с которым изготовлен и может быть идентифицирован продукт; единый знак обращения на рынке ЕАС.
Реализация продукта	Реализация в розничной торговой сети осуществляется при наличии информационных сведений о товаре, целостности упаковки, выкладке товара при температуре 18±3ºС и относительной влажности воздуха не выше 75%.

Для оценки рисков на всех этапах и стадиях технологического процесса с целью дальнейшего анализа опасностей необходимо опираться на производственную блок-схему, которая отражает все стадии производства. На рисунке 1 приведена блок-схема производства завтраков сухих готовых.

С помощью блок-схемы выявили возможные виды опасностей, которые могут присутствовать в производственном процессе выработки завтраков сухих готовых, при этом учитывали факторы, негативно отражающиеся на безопасности готовой продукции (окружающая среда, технологическое оборудование, персонал) [10].

Особенностью технологии завтраков сухих готовых является приготовление концентрированного экстракта из высушенных ягод и гранулирование смеси сырьевых ингредиентов. В таблице 2 приведены контролируемые параметры в производстве.

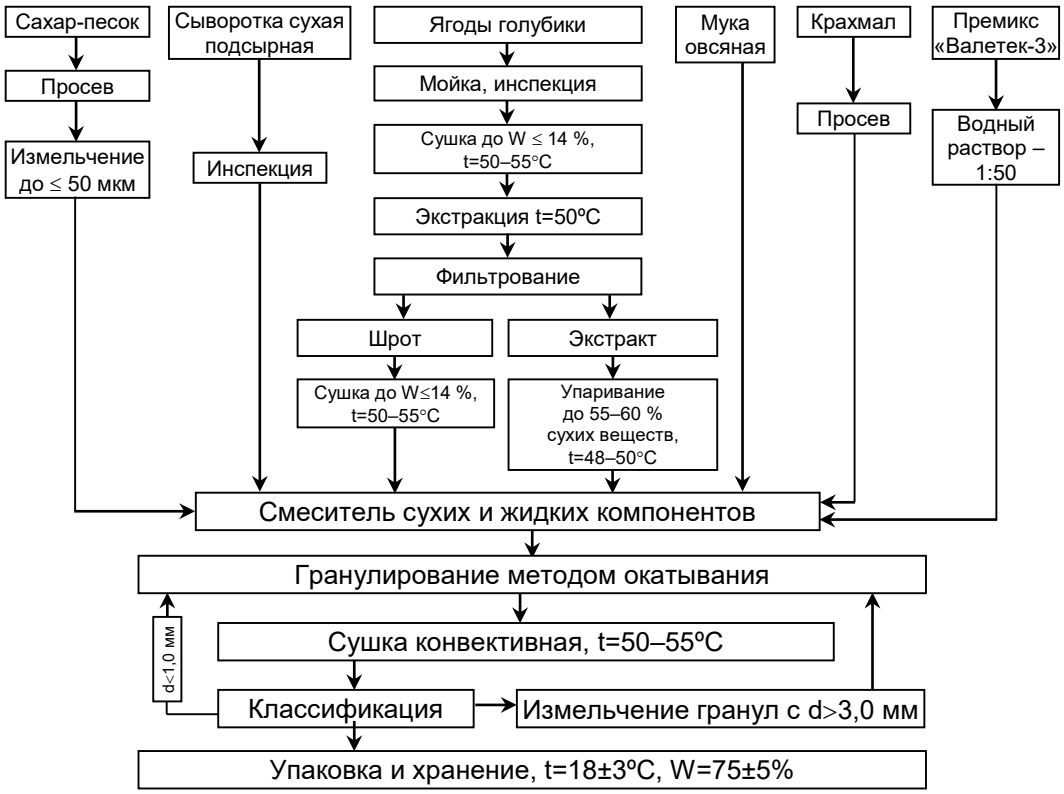


Рисунок 1 - Блок-схема технологического процесса

Figure 1 - Process flow diagram

Таблица 2 - Контролируемые параметры в технологии производства

Table 2 - Controlled parameters in production technology

Стадия технологического процесса	Контролируемые параметры
1	2
Приемка и контроль качества сырья	Органолептические показатели согласно требований нормативных документов на сырье; Физико-химические показатели: мука овсяная – влажность; ягоды голубики - наличие примесей растительного происхождения и посторонних примесей, сельскохозяйственных вредителей, наличие ягод, поврежденных сельскохозяйственными вредителями, наличие гнилых ягод [11].
Сушка ягод голубики	Температура сушки 50–55ºС, содержание влаги – не более 14%
Приготовление экстракта	Температура экстракции (50ºС); массовая доля сухих веществ в экстракте (6–8%)
Фильтрование и отделение шрота	Остаточное содержание шрота, не более 5%; влажность шрота (не более 14%)
Упаривание экстракта	Температура упаривания (48–50ºС); давление в вакуумном аппарате не более 4,8 кПа; массовая доля сухих веществ (55–60%).
Смешивание сухих и жидких компонентов	Однородность смеси
Гранулирование методом окатывания, классификация гранул	Диаметр гранул (не более 3,0 мм и не менее 1,0 мм)
Сушка гранул	Температура 50–55ºС, массовая доля влаги в гранулах не более 9,0%
Охлаждение	Температура 18±3ºС
Выходной контроль готовых изделий	Органолептические показатели: вкус и запах, цвет, внешний вид, консистенция, физико-химические: массовая доля влаги - не более 9,0%;

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

1	2
	массовая доля металлических примесей, мг/кг. – не более 3,0; массовая доля посторонних примесей.
Упаковка	Целостность упаковки, соответствие массы нетто
Маркировка	Соответствие маркировки ТР ТС 022/2011, четкость нанесения, доступность для прочтения
Транспортирование готовой продукции	Контроль транспортного средства (санитарное состояние, высота укладки штабеля транспортной тары)

Отличительной особенностью завтраков сухих готовых является приготовление экстракта из ягод голубики и дальнейшая операция грануллирования. Анализ опасных факторов и определенные предупреждающие действия для каждой технологической операции приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Опасные факторы в технологии производства завтраков сухих готовых
Table 3 - Hazardous factors in the production technology of ready-to-eat breakfast cereals

№ п/п	Операция	Опасный фактор	Контролируемые признаки	Предупреждающие действия
1	Приемка и хранение ягод голубики	Х*	Остаточное количество пестицидов, радионуклидов, яиц гельминтов и цист кишечных патогенных простейших	Анализ товаросопроводительных документов Входной контроль сырья по ТР ТС 021/2011 Визуальный осмотр
		Б	Сельскохозяйственные вредители	
		Ф	Посторонняя примесь	
2	Приемка и хранение муки овсяной, крахмала, сахара, сухой сыворотки, премикса “Валетек 3”	Б	Зараженность вредителями хлебных запасов	Анализ товаросопроводительных документов Визуальный осмотр
		Ф	Посторонняя примесь, Минеральная примесь	
3	Сушка ягод	Х	Влажность	При повышенной влажности досушивание
		Ф	Посторонние примеси	Удаление посторонних примесей
4	Экстракция	Ф	Температура	Операционный контроль
		Х	Содержание витамина С	Контроль температуры
5	Фильтрование экстракта	Ф	Посторонние примеси	Визуальный осмотр, повторная фильтрация
6	Сушка шрота	Х	Влажность	При повышенной влажности досушивание
		Ф	Посторонние примеси	Удаление посторонних примесей
7	Упаривание экстракта	Х	Массовая доля сухих веществ, содержание витамина С	Дополнительное упаривание
		Ф	Температура, давление	Контроль
8	Смешивание рецептурных компонентов	Ф, Х	Однородность смеси, неравномерность распределения премикса	Повторное перемешивание
9	Гранулирование	Ф	Размер гранул	В случае размера гранул менее 1,0 мм - на повторное гранулирование, в случае размера гранул более 3,0 мм - измельчение и повторное гранулирование
10	Готовая продукция	Ф	Размер гранул	Соблюдение режимов упаковывания, хранения, транспортирования
11	Упаковка, маркировка	Х	Попадание вредных веществ от материалов упаковки	Входной контроль упаковки
		Ф	Целостность упаковки	Замена упаковки
12	Хранение	Б	Температура Относительная влажность воздуха	Контроль за соблюдением условий и режимов хранения

*Примечание: Ф – физические риски, Х – химические риски, Б – биологические риски [9].

Таблица дает наглядное обоснование для выбора критических контрольных точек и предупреждающих действий. Риски, негативно отражающиеся на безопасности продукции, существуют на технологических операциях: приемка сырья (ягоды голубики), сушка ягод, экстракция, сушка шрота, упаривание, гранулирование. На данных операциях возможны биологические риски (появление плесени, наличие сельскохозяйственных вредителей), представляющие угрозу для безопасности конечного продукта и требующие установления контроля над ними и химические риски, связанные с разрушением витамина С и биологически активных веществ при повышении температуры выше 55 °С. В таблице 4 приведены риски и номер операции, указана тяжесть последствий от риска.

Таблица 4 – Матрица анализа рисков

Table 4 – Risk analysis matrix

Тяжесть последствий и вероятность возникновения		Тяжесть последствий/операция		
		Небольшой вред 1	Средний вред 2	Сильный вред 3
Вероятность возникновения	Маловероятно 1	Незначительный риск /1(Ф, Б), 2 (Ф, Б), 3 (Ф), 6(Ф, Х), 10 (Ф)	Приемлемый риск/ 5 (Ф), 8 (Ф)	Умеренный риск/ 3(Х), 11 (Х), 12 (Б)
	Вероятно 2	Приемлемый риск/ 3(Б), 9(Ф), 11 (Ф)	Умеренный риск/ 1 (Х), 8(Ф)	Существенный риск/ 4 (Ф, Х), 7 (Х, Ф), 8(Х)
	Высокая вероятность 3	Умеренный риск/	Существенный риск/	Неприемлемый риск

Анализ рисков выявил отсутствие существенных и неприемлемых рисков с высокой вероятностью возникновения. Соблюдение технологических параметров на операциях с существенным риском и средней вероятностью возникновения оказывает влияние на степень безопасности готового продукта на других стадиях технологического процесса и этапах жизненного цикла. Существенные риски выявлены на операциях экстракции, упаривания экстракта и смешивания рецептурных ингредиентов. Соблюдение температуры экстрагирования и упаривания (не выше 50°С) связано с сохранением аскорбиновой кислоты, особо чувствительной к воздействию высоких температур. Готовый продукт позиционируется как продукт с высоким содержанием витамина С, для получения устойчивого качества готового завтрака целесообразно вводить ККТ на данной операции. Маловероятный риск возможен на стадии сушки ягод, в случае несоблюдения нормируемой массовой доли влаги (не более 14%) и температуры высушивания (ниже 50°С) возможны биологические риски, связанные с развитием плесени и снижением доли аскорбиновой кислоты.

На основе анализа рисков предложен рабочий план ХАССП. Описание критических контрольных точек (ККТ), мониторинг и корректирующие действия приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Фрагмент рабочего плана ХАССП

Table 5 - Fragment of the HACCP work plan

№ ККТ	Опасный фактор	Мониторинг		Корректирующие действия
		параметр	пределы	
ККТ1	Сушка ягоды голубики	Массовая доля влаги	Не более 14%	Контроль массовой доли влаги
ККТ2	Экстракция	Температура Массовая доля сухих веществ	45–50ºС 6–8%	Контроль массовой доли сухих веществ
ККТ3	Упаривание	Массовая доля витамина С	55–58 мг/100г	Контроль содержания витамина С

ВЫВОДЫ

Оценены риски, причины их появления. Предложен план ХАССП, отражающий отличительные особенности завтраков сухих готовых витаминизированных. Для управления рисками в производстве продукта выявлены три критические контрольные точки на этапах сушки ягод, экстракции и упаривания экстракта. Практическая значимость предложенных результатов заключается в их реализации при внедрении системы ХАССП, используемой предприятием для защиты производственных процессов от рисков и продвижении качественной и безопасной продукции на потребительский рынок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор российского рынка сухих завтраков. Август 2023. Прогноз развития до 2027 года. https://dzen.ru/a/ZRwDADTbkSq14sA1 (дата обращения 09.04.2024).

2. Рынок сухих завтраков в России. https://vc.ru/u/406653-roif-expert/555478-rynok-suhih-zavtrakov-s-assortimentnymi-gruppami-v-rossii-2022-sostavil-9-mlrd-rubley (дата обращения 09.04.2024).

3. Обоснование устойчивой технологии гранулирования в производстве сухих функциональных напитков / А. С. Мустафина, И. Ю. Резниченко, И. А. Бакин, С. В. Шилов // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2023. № 1(391). – С. 124-132. – DOI 10.26297/0579-3009.2023.1.20. – EDN AOZPQN.

4. Анализ технической системы процесса производства многокомпонентных продуктов питания / Т. В. Шевченко, Ю. В. Устинова, К. Б. Плотников, А. М. Попов // *Пищевая промышленность*, 2021. №12. С. 60–63. - DOI: 10.52653/PPI.2021.12.12.011.

5. Shah, F. U. H., Sharif, M. K., Bashir, S., & Ahsan, F. (2019). Role of healthy extruded snacks to mitigate malnutrition. *Food Reviews International*, *35*(4), 299-323.

6. Кравченко С.Н., Попов А.М., Дианова Н.Б. Технология комплексной переработки голубики топяной (Vaccinium uliginosum L.) и производства на ее основе функциональных быстрорастворимых продуктов // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2009. № 1. С. 65–68.

7. Awuchi, C. G. (2023). HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems. *Cogent Food & Agriculture*, *9*(1), 2176280.

8. Motarjemi, Y., & Warren, B. R. (2023). Hazard analysis and critical control point system (HACCP). In *Food safety management* (pp. 799-818). Academic Press.

9. ГОСТ Р 51705.1 - 2001 Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП.Общие требования. М. ИПК Издательство стандартов. 2004. - 25с.

10. Pérez-Lavalle, L., Carrasco, E., & Valero, A. (2020). Microbiological criteria: Principles for their establishment and application in food quality and safety. *Italian journal of food safety*, *9*(1).

11. DIN EN 15662-2018. Продукция пищевая растительного происхождения. Мультиметод определения остатков пестицидов с применением ГХ-МС и/или ЖХ-МС/МС после экстракции и разделения ацетонитрилом и очистки с помощью дисперсионной ТФЭ. Модульный метод QuEChERS.

Информация об авторах

С. Н. Кравченко – доктор технических наук, профессор кафедры агроинженерии ФГБОУ ВО Кузбасского государственного аграрного университета им. В.Н. Полецкова.

И. Ю. Резниченко – доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологий и производства продуктов питания ФГБОУ ВО Кузбасского государственного аграрного университета им. В.Н. Полецкова.

Information about the authors

S. N. Kravchenko – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Agricultural Engineering Kuzbass State Agricultural University.

I. Yu. Reznichenko – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Production Kuzbass State Agricultural University.

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 128–133.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 128–133.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.762:663.031
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.019

EDN: HJPBKP

ВЫБОР СЫРЬЯ И ЕГО ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОВСЯНОГО НАПИТКА

Кольтюгин Илья Сергеевич

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
17081994s@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-8962-7321

***Аннотация**. Напитки из плодово-ягодного и овощного сырья занимают в рационе питания достаточно большой объем и являются традиционной составляющей потребляемых продуктов. Однако наряду с этими напитками приобретают все большую популярность напитки из зернового сырья, наибольший интерес вызывает зерно овса. Кроме того, Алтайский край является ведущим регионом по производству и переработке этой культуры. Статья посвящена анализу состава зерна овса и продуктов, которые из него вырабатываются крупяной отраслью, а также обоснован выбор технологии, в которой в качестве сырья для напитка «немолоко» предлагается использовать овсяную крупу.*

Проведен анализ имеющихся источников по химическому составу зерна овса, дана характеристика наиболее ценных биологически активных веществ, отмечена его физиологическая роль для организма человека. Содержание белков в зернах овса выше, чем в других зерновых культурах, овес выгодно отличается тем, что его аминокислотный состав остается достаточно хорошо сбалансированным даже при высоком содержании белка. Таким образом, по пищевой ценности овес во многих отношениях превосходит другие зерновые культуры. Пищевая ценность белков определяется в первую очередь содержанием «незаменимых» аминокислот, по которой судят о его биологической ценности. Наличие в углеводном комплексе бета-глюкана характеризует его физиологическую ценность. Содержание в зерне некоторых минеральных веществ значительно превышает рекомендуемую дневную норму, что относит овес к сырью с высокими функциональными возможностями.

На основании анализа продуктов, вырабатываемых из зерна овса, сделан выбор сырья, наиболее отвечающего требованиям, предъявляемым к производству овсяного напитка.

В связи с этим, проанализирована технология производства крупы, с точки зрения современных направлений переработки овса. Отмечены особенности проведения гидротермической обработки зерна при производстве крупы, ее влияние на структурно-механические и биохимические свойства полуфабрикатов и готового продукта.

***Ключевые слова**: зерно овса, химический состав, биологическая ценность, крупа, напитки из овса.*

Для цитирования: Кольтюгин, И. С. Выбор сырья и его технологии для производства овсяного напитка // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 128 – 133. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.019, EDN: https://elibrary.ru/HJPBKP .

Original article

SELECTION OF RAW MATERIALS AND TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF OAT DRINK

Ilya S. Koltyugin

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
17081994s@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-8962-7321

***Abstract.** Drinks made from fruit, berry and vegetable raw materials occupy a fairly large volume in the diet and are a traditional component of consumed products. However, along with these drinks, drinks made from grain raw materials are becoming increasingly popular; oat grains are of the greatest interest. In*

© Кольтюгин И. С., 2024

addition, the Altai Territory is the leading region for the production and processing of this crop. The article is devoted to the analysis of the composition of oat grain and the products that are produced from it by the cereal industry, and also justifies the choice of technology in which it is proposed to use oatmeal as a raw material for the "non-milk" drink.

An analysis of available sources on the chemical composition of oat grain was carried out, characteristics of the most valuable biologically active substances were given, and its physiological role for the human body was noted. The protein content in oat grains is higher than in other grain crops; oats are distinguished by the fact that their amino acid composition remains fairly well balanced even with a high protein content. Thus, in terms of nutritional value, oats are superior to other grain crops in many respects. The nutritional value of proteins is determined primarily by the content of "essential" amino acids, which is used to judge its biological value. The presence of beta-glucan in the carbohydrate complex characterizes its physiological value. The content of some minerals in the grain significantly exceeds the recommended daily allowance, which classifies oats as a raw material with high functionality.

Based on the analysis of products produced from oat grain, a choice of raw materials was made that best meets the requirements for the production of an oat drink.

In this regard, the technology for the production of cereals is analyzed from the point of view of modern directions of oat processing. The features of hydrothermal processing of grain during the production of cereals, its influence on the structural-mechanical and bio-chemical properties of semi-finished products and the finished product are noted.

***Keywords**: oat grain, chemical composition, biological value, cereals, oat drinks.*

For citation: Koltyugin, I. S. (2024). Selection of raw materials and its technology for the production of oat drink. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 128-133. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.019. EDN: https://elibrary.ru/HJPBKP.

ВВЕДЕНИЕ

Питание неотъемлемая часть существования человека, которая при правильном использовании позволяет ему переносить многие стрессовые ситуации, возникающие в жизни. Требования к продуктам питания с течением времени становятся все выше: они должны соответствовать традиционным вкусам, быть в категории продуктов здорового питания, служить организму человека, укрепляя и оздоравливая.

Человеческий организм нуждается в определенном количестве белков, жиров, углеводов, минеральных веществ и витаминов, но к большому сожалению практически не существует такого продукта, который бы обеспечил все потребности организма. Объектами способными обеспечить человека большинством требуемых веществ являются зерновые культуры.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель работы: Обоснование зернового сырья и его технологии для производства овсяного напитка. Исследования представляют новизну и актуальность для разработки технологических инструкций (ТИ), технических условий (ТУ) и внедрения в промышленное производство напитка.

Задачи: проанализировать актуальное состояние сырьевой базы Алтайского края и обосновать возможность использования возделываемых культур в качестве основы для напитка на растительной основе; обосновать выбор технологии, в которой в качестве сырья для напитка «немолоко» предлагается использовать овсяную крупу.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Овес одна из культур, которая является сырье для большого ассортимента продуктов питания - это крупа, овсяные хлопья, толокно, мука и вырабатываемые из них кондитерские изделия (овсяное печенье, кексы и др.), добавки в хлебобулочную продукцию, он ингредиент многих холодных каш (мюсли). Чем обусловлена такая популярность овса?

Зерно овса кроме наличия многих нужных человеку веществ обладает антиоксидантными войствами, содержащийся в нем бета-глюкан имеет функциональное значение, так как способствует снижению уровня холестерина в крови.

Бета-D-глюканы представляют собой класс неперевариваемых полисахаридов, которые выполняя роль адсорбента, положительно действуют на работу кишечника тем самым улучшая его микрофлору. Зерно овса по содержанию жира превосходит все другие зерновые культуры, а по содержанию тиамина (витамин В1) опережает пшеницу, рис и ячмень. Имея в составе богатый набор микроэлементов, продукты из овса по некоторым из них, могут компенсировать значительную долю дневной нормы (РДН). В таблице 1 представлен общий состав веществ, содержащихся в зерне овса и некоторых элементов, наличие которых наиболее высоко.

Овес используется в фармацевтической промышленности, народной медицине, является компонентом многих продуктов спортивного питания. Само название рода авена (Avena) – овес, происходит от латинского avere, что означает быть здоровым. Использование овса в пищевой промышленности (овсяная крупа, хлопья, мука, толокно и др.) связано с хорошей усвояе-

мостью питательных веществ и витаминов, что делает его ценным для детского и диетического питания. В некоторых странах, овсяную муку, не дающую клейковину, используют при выпечке хлеба, добавляя к ржаной или пшеничной муке. Часть овса идет на производство солода в бродильной промышленности. Овес - хороший источник растворимой клетчатки, которая, в отличие от нерастворимой клетчатки пшеницы и других зерновых культур, усваивается организмом, способствует лучшему обмену веществ.

Таблица 1 – Химический состав зерна овса *
Table 1 – Chemical composition of oat grain

Наименование	Содержание	РДН, %
Углеводы, %	66,1	-
Белки, %	16,9	-
Жиры, %	6,9	-
Вода, %	8,2	-
Зола, %	1,7	-
Клетчатка, %	1,2	-
Витамины, мкг, в том числе:		
Тиамин (В1)	0,76 – 1,2	57,6
Биотин (В7)	15	30
Пантотеновая кислота (В5)	1,35 – 1,5	28,5
Минеральные вещества, мкг, в том числе:		
Кремний	1000	3333,3
Ванадий	200	500
Бор	274	390
Марганец	4720 -5250	249
Цирконий	61,4	122
Фитостеролы, мг в 10 г продукта	60	109
Клетчатка, г в 100 г продукта	12	48
Пектин, г в 100 г продукта	7,76	155,2

* справочные данные

Содержание белка в зерне овса колеблется в широких пределах от 9 до 20 %. Сорта овса отличаются наибольшими колебаниями по содержанию глобулинов и проламинов. Фракционный состав белков овса отличается от белков пшеницы, ржи и ячменя. Глютелины преобладающая фракция белков, отмечено повышенное содержание аргинина и сниженное глутаминовой кислоты по сравнению с другими зерновыми культурами. Содержание незаменимой аминокислоты лизина в зерне овса почти в два раза выше, чем в пшенице. Только в овсе, в качестве основного запасного белка, отмечено наличие авеналина в количестве 80 %. Второстепенным белком является авенин. Белок овса почти эквивалентен по качеству соевому белку, а его содержание в крупе может быть от 12 до 24 %.

Содержание белков в зернах овса обычно намного выше, чем в других зерновых культурах. От них овес выгодно отличается еще и тем, что его аминокислотный состав остается достаточно хорошо сбалансированным даже при высоком содержании белка. Таким образом, по пищевой ценности овес во многих отношениях превосходит другие зерновые культуры. Пищевая ценность белков определяется в первую очередь содержанием «незаменимых» аминокислот (лизина, триптофана, метионина, треонина, валина, фенилаланина, лейцина, изолейцина). По наличию в белке суммы незаменимых аминокислот судят о его биологической ценности. В сравнении с эталоном (куриным яйцом) она у овса составляет 60, у пшеницы – 55.

В состав углеводного комплекса овса входят крахмал, слизеобразующие полисахариды, гемицеллюлозы, целлюлоза, лигнин, в небольших количествах - моно- и олигосахариды. Основное вещество углеводной фракции - крахмал. Содержание его в зависимости от вида и сорта колеблется от 36 до 59 %. Физико-химические свойства главного полисахарида зерна (крахмала) в значительной степени зависят от соотношения двух его компонентов: амилозы и амилопектина. С высоким содержанием амилозы связывают хорошие кулинарные свойства круп. Высокая вязкость овсяных отваров обусловлена присутствием в зерне некрахмального водорастворимого полисахарида бета-D-глюкана. Его считают физиологически важным диетическим компонентом зерна. По химическим показателям это вещество напоминает полисахарид лихенин, обнаруженный в исландском мхе. Смешанный бета-глюкан эндосперма овса принадлежит к группе неразветвленных полисахаридов, состоящих из 1-4 и 1-3 связанных β-D-глюкопиранозных остатков в различных соотношениях [1, 2, 3, 4].

Пищевое достоинство овса, отличающее его от других зерновых культур, высокое содержание липидов в зерне. В состав масла овса входят насыщенные жирные кислоты: миристиновая, пальмитиновая, стеариновая и ненасыщенные; олеиновая, линолевая, линоленовая.

На зерноперерабатывающих предприятиях из овса вырабатывают: недробленую крупу, целую плющеную крупу, хлопья «Геркулес» и «Экстра», овсяную муку и толокно. Готовая овсяная крупа является одновременно конечным продуктом и сырьем для получения других продуктов из овса. В таблице 2 приведены сравнительные показатели пищевой ценности овса и продуктов его переработки [5].

Пищевая безопасность продуктов должна обеспечиваться многими факторами, в том числе применением стандартов ИСО 22000, ИСО 14000 и ИСО 9000, которые нормируют чистоту, гигиену и качество производимой продукции Основным показателем безопасности, гарантирующим качество будущего продукта, служит выбор сырья с низким уровнем риска. Поэтому ее обеспечение зависит от деятельности хозяйств, производящих зерно, обеспечивающих ее уборку, транспортировку, предварительную обработку, хранение и

целевую переработку. Наиболее опасными, высокотоксичными загрязнителями зернового сырья являются микотоксины, которые вырабатываются некоторыми видами грибов при нарушении или несоблюдении санитарных и гигиенических правил при выращивании, обработке и производстве продуктов питания. Высокотоксичными и канцерогенными для человека считаются афлотоксины, которые могут встречаться как в необработанном сырье, так и в продуктах переработки.

Таблица 2 - Пищевая ценность продуктов переработки овса*

Table 2 – Nutritional value of oat products

Показатели	Крупа	Хлопья	Толокно	Мука
Содержание, %				
Белок	12,3	12,3	12,5	13,0
Жир	6,1	6,2	6,0	13,0
Углеводы, % в том числе:				
Крахмал	58,2	60,1	62,9	63,5
Зола	2,1	1,7	1,8	1,8
Пищевые волокна	8,0	6,0	4,8	4,5
Витамины мг/%, в том числе:				
РР (ниацин)	1,1	1,0	0,7	1,0
В1 (тиамин)	0,49	0,45	0,22	0,35
В2 (рибофлавин)	0,11	0,10	0,06	0,10
Минеральные вещества, мг/% в том числе:				
Калий	362	330	351	280
Кальций	64	52	58	80
Магний	116	129	111	110
Натрий	35	20	23	21
Железо	3,9	3,6	3,0	3,6
Калорийность, ккал	326	352	135	353

* справочные данные

Использование пестицидов с нарушением норм, также может вызвать негативную токсическую или аллергическую реакцию организма. Соли металлов относятся к довольно распространенным загрязнителям. Наиболее токсичными элементами являются соли тяжелых металлов – мышьяка, кадмия, ртути [6,7].

Исследования многих авторов подтверждают пищевую, биологическую, физиологическую ценность зерна овса, его функциональные свойства в современных продуктах питания, а овсяное «немолоко» несомненно один из них. Важным этапом при производстве современных продуктов является правильный и точный выбор сырья, из которого этот продукт будет произведен [8].

При оценке технологического потенциала любой зерновой культуры необходимо учитывать, что зерно — это сложное физическое тело. В нем соединены в целое разнородные по структуре анатомические части: эндосперм, оболочки, зародыш, а кроме того это живой организм, на который влияют внешние и внутренние факторы: биологические особенности сорта, почвенно-климатические условия выращивания, агротехнические мероприятия.

Для производства овсяного напитка «немолоко» выбрана крупа и здесь следует проявить интерес к технологии ее получения.

Технология получения крупы – это совокупность операций, которые взаимосвязаны между собой, влияют друг на друга и зависят от многих внутренних и внешних факторов и обладают свойствами сложной системы. В этой сложной системе значительную роль играет процесс гидротермической обработки (ГТО) и шелушения. Основные потери ядра происходят на этапе шелушения и наряду с изменением технологических свойств изменяются биохимические показатели и питательная ценность крупы.

Существует принципиальная схема получения крупы, которая включает в себя: очистку зерна на камнеотборниках и сепараторах, фракционирование на крупную и мелкую фракции, сохраняя два потока зерна для следующей операции, а именно гидротермической обработки (ГТО). В предлагаемой технологической схеме ГТО проводят в шнековых пропаривателях непрерывного действия при давлении пара от 0,05 до 0,1 МПа в течение 5 минут, затем охлаждают до определенной влажности, дальше зерно сушат, затем охлаждают, шелушат, отделяют ядро от нешелушенных зерен с дальнейшим контролем полученной крупы и отходов [9]. В результате ГТО улучшаются технологические свойства зерна, повышается его питательная ценность и потребительские свойства. Затем процесс идет согласно схеме, представленной на рисунке.

При переработке зерна овса в крупу используют пропаривание и сушку, и таким образом зерно дважды подвергается термической обработке, что оказывает влияние на его химический состав и в последующем на готовый продукт, то есть крупу, которая является основой для производства овсяного «немолока». Изменениям подвергается чаще всего белок и крахмал.

Зерно овса состоит из трех анатомических

частей – это зародыш, эндосперм и оболочки, где каждая из частей имеет отличное друг от друга строение. Между зародышем и эндоспермом расположен щиток, который плотно связывает между собой эти части и богат ферментами, которые в свою очередь играют важную роль в превращении органических веществ в растворимые, легко переходящие из клетки в клетку. Эндосперм зерновки овса представляет собой очень мучнистую, рыхлую структуру, а крахмальные гранулы, из которых состоит эндосперм, имеют овальную закругленную форму, чем крупнее зерно, тем средний диаметр крахмальных гранул больше.

Различия в структурно-механических свойствах зерновки овса на начальном этапе гидротермической обработки приводят к активному трещинообразованию и разрыхлению эндосперма. При этом происходит снижение технологических свойств зерна, а на выходе повышается количество дробленой крупы. Здесь важное значение имеет продолжительность гидротермической обработки и режимы ее ведения. Прекращение образования трещин свидетельствует о локализации молекул воды на активных центрах макромолекул и переходе ее в связанное состояние. Операции увлажнения и пропаривания зерна при переработке в крупу ведут к склеиванию трещин, образующихся на начальной стадии увлажнения и пропаривания, при этом повышаются пластические свойства ядра, структура эндосперма становится более плотной.

Как отмечалось выше, при использовании такой технологии зерно подвергается дважды гидротермической обработке в течение довольно длительного времени, изменения при этом отражаются на структуре белка и крахмала. Предложен способ гидротермической обработки с интенсивным увлажнением зерна под вакуумом. Он заключается в скоростном наборе вакуума при увлажнении зерна, его перемешивании с помощью шнека и последующей скоростной подаче атмосферного воздуха в процессе выгрузки зерна. При создании вакуума происходит частичное освобождение от воздуха капилляров, расположенных на поверхности зерна, при этом они становятся доступнее для проникновения в них воды. Подача воздуха в установку при выпуске зерна усиливает перенос влаги внутрь зерна, при этом увлажняются наружные слои ядра. В результате интенсифицируется процесс проникновения влаги в зерно. После увлажнения оно направляется для отволаживания и сушки.

Интенсификация увлажнения зерна при гидротермической обработке влияет на длительность отволаживания: при увлажнении под вакуумом достаточно отволаживать зерно в течение 6 ч, а при отволаживании при атмосферном давлении – не менее 12 ч. Установлено, что на технологические свойства зерна увлажнение в вакуумной установке и отволаживание его в течение 6 ч не повлияло. Коэффициент цельности ядра при шелушении находится в пределах от 97 до 98 %, а коэффициент шелушения заметно возрастает [10,11].

Проанализировав существующие технологии получения крупы из овса, предложена схема подготовки сырья для дальнейшей ее переработки с целью производства напитка на растительной основе. Схема приведена на рисунке 1.

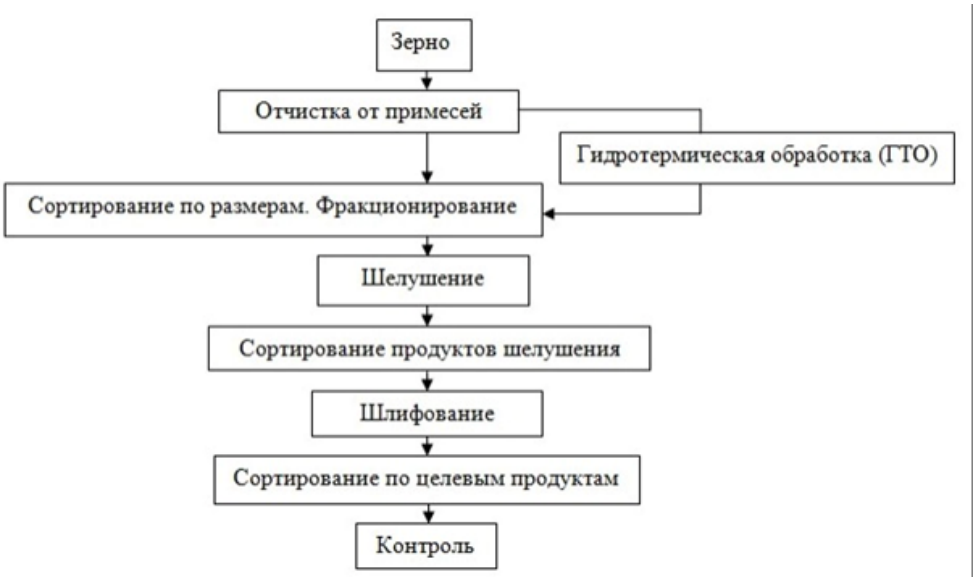


Рисунок 1 – Технологическая схема подготовки крупы из овса

Figure 1 – Technological scheme for preparing oat cereals

ВЫВОДЫ

Если обосновывать выбор в качестве сырья для производства «немолока» овсяной крупы, то следует отметить, что Россия является ведущим производителем зерна этой культуры и Алтайский край занимает одно из значительных мест в объеме его выращивания. Развитая крупяная отрасль края позволяет использовать и совершенствовать технологии переработки овса как отмечалось выше.

Выбор сырья для производства растительного «немолока» достаточно широк и каждый производитель выбирает и специализируется на выпуске ассортиментной линейки индивидуального направления.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (№ 075-03-2024-105, номер темы FZMM-2024-0003, рег. № НИОКТР 124013000666-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков Е.Д., Карпиленко Г.П. Биохимия зерна и зернопродуктов (3-е переработанное и дополненное издание) – СПб.: ГИОРД, 2005. 512 с.

2. Моисеева М.Н. Сравнительная оценка пленчатого и голозерного овса по пищевой ценности / М.Н. Моисеева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. №6 (92). - С. 73-76.

3. Шаболкина Е.Н. Изучение биологической ценности белка зерна овса голозерного / Е.Н. Шаболкина, С.Н. Шевченко, Г.А. Баталова, А.В. Васина, Н.В. Анисимкина, А.А. Бишарев. // Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». 2020, №2 (34). – С. 78 – 83.

4. Акимова О.В. Физико-биохимические особенности формирования продуктивности и качества зерна голозерных и пленчатых сортов овса в условиях южной лесостепи Западной Сибири: Автореферат дис.к.с.-х.н.: 06.01.09/ О.В. Акимова. – Тюмень, 2008. -16 с.

5. Зенкова, А.Н. Крупяные продукты как компоненты здорового питания / А.Н. Зенкова [и др.]. - М.: РАСХН, 2008.-72 с. / А.Н. Зенкова [и др.]. - М.: РАСХН, 2008.-72 с.)

6. Солтан О.И.А., Анисимова Л.В. Влияние гидротермической обработки зерна овса на показатели безопасности овсяной муки /Современные проблемы техники и технологии пищевых производств. Материалы XX Международной научно-практической конференции (14-15 марта 2019 г.) Изд-во АлтГТУ. Барнаул 2019. с. 327-330.

7. ТР ТС 015/2011 /Технический регламент таможенного союза «О безопасности зерна»

8. Егорова Е.Ю. «Немолочное молоко»: обзор сырья и технологий. Ползуновский вестник № 3. 2018. С.25 – 34.

9. Чеботарев О.Н., Шаззо А.Ю., Мартыненко Я.Ф. Технология муки, крупы и комбикормов. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2004. – 688 с.

10. Солтан О.И.А. Разработка технологии овсяной муки с интенсивным увлажнением зерна и мучных композитных смесей на ее основе. /Автореферат диссертации на соискание уч.ст.к.т.н./, Барнаул. 2020. 24 с.

11. Марьин, В.А. Влияние влажности на технологические свойства зерна овса / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, Н.В. Бычин // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 39. – № 4. − С. 50−56.

Информация об авторах

И.С. Кольтюгин – аспирант 2-го курса обучения, ассистент кафедры «Технология продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Information about the author

I. S. Koltyugin – 2nd year graduate student, assistant at the Department of Food Technology, Polzunov Altai State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 134–140.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 134–140.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.020 EDN: DSZSDR

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОИНКАПСУЛИРОВАННОГО ЭКСТРАКТА ПРОРОСТКОВ *BRASSICA OLERACEA* VAR. ITALICA

Эльмира Рамазановна Эминова [1], Ангелина Сергеевна Сорокина [2], Людмила Александровна Забодалова [3], Никита Тютьков [4], Пабло Багнон Ричард Анж Аллох [5], Денис Александрович Бараненко [6]

[1, 2, 3, 4, 5, 6] Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
[1] eminova@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0001-9624-4429
[2] gilllya@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0328-550X
[3] lzabodalova@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0002-2324-8311
[4] nikita_tytkov@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0002-7394-7524
[5] pabloalloh@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4954-9470
[6] denis.baranenko@itmo.ru*, https://orcid.org/0000-0002-9284-4379

Аннотация. *Целью исследования являлось получение микроинкапсулированной формы экстракта проростков брокколи, оптимизированного в отношении содержания биологически активных веществ. Осуществлялась оптимизация условий извлечения фенольных соединений брокколи по трём факторам – гидромодулю, продолжительности экстракции и мощности ультразвукового воздействия. В соответствии с полученными экспериментальными данными, были установлены следующие условия: гидромодуль - 1:25; продолжительность экстракции - 60 сек; мощность ультразвукового воздействия - 300 Вт, растворитель – 70 %-ная водно-этанольная смесь. Получено уравнение регрессии, адекватно описывающее изучаемый процесс. Для полученного при оптимальных условиях экстракта определено содержание суммы фенольных соединений – 482 ± 18 мг на 100 г высушенных проростков, флавоноидов - 45,25 ± 2,0 мг/100 г, глюкозинолатов – 349 ± 16 мг/100 г, а также антиоксидантная активность. Экстракты были инкапсулированы методом экструзии; эффективность инкапсулирования составила для фенольных соединений 95,2 ± 3,2 %, для глюкозинолатов - 85,7 ± 2,9 %. Охарактеризованы органолептические свойства пищевого продукта – слоеного печенья с заварным кремом, содержащего в своем составе микроинкапсулированный экстракт.*

Ключевые слова: *брокколи, ультразвуковая экстракция, биологически активные вещества, фенольные соединения, флавоноиды, сульфорафан, инкапсулирование, экструзия, функциональный пищевой продукт.*

Благодарности: *исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00243, https://rscf.ru/project/23-16-00243/.*

Для цитирования: Получение микроинкапсулированного экстракта проростков Brassica oleracea var. italica Э. Р. Эминова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 134 – 140. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.020, EDN: https://elibrary.ru/DSZSDR .

Original article

MICROENCAPSULATION OF EXTRACTS OBTAINED FROM *BRASSICA OLERACEA* VAR. ITALICA SPROUTS

Elmira R. Eminova [1], Angelina S. Sorokina [2], Ludmila A. Zabodalova [3], Nikita Tyutkov [4], Pablo Alloh [5], Denis A. Baranenko [6].

[1, 2, 3, 4, 5, 6] ITMO University, Saint-Petersburg, Russia
[1] eminova@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0001-9624-4429
[2] gilllya@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0328-550X
[3] lzabodalova@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0002-2324-8311

© Эминова Э. Р.,Сорокина А. С., Забодалова Л. А., Тютьков Н., Пабло Багнон Ричард Анж Аллох, Бараненко Д. А. , 2024

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОИНКАПСУЛИРОВАННОГО ЭКСТРАКТА ПРОРОСТКОВ BRASSICA OLERACEA VAR. ITALICA

[4] nikita_tytkov@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0002-7394-7524
[5] pabloalloh@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4954-9470
[6] denis.baranenko@itmo.ru*, https://orcid.org/0000-0002-9284-4379

Abstract. *The purpose of the study was to obtain a microencapsulated form of broccoli sprout extract optimized for the content of biologically active substances. The conditions for the extraction of phenolic compounds from broccoli were optimized according to three factors: hydraulic module, extraction duration and ultrasonic power. In accordance with the experimental data obtained, the following conditions were established: hydraulic module - 1:25; extraction duration - 60 seconds; ultrasonic power - 300 W, solvent – 70 % ethanol in water. A regression equation is obtained that adequately describes the process under study. For the extract obtained under optimal conditions, the content of total phenolic compounds was determined - 482 ± 18 mg per 100 g of dried sprouts, flavonoids - 45.25 ± 2.0 mg/100 g, glucosinolates - 349 ± 16 mg/100 g, as well as antioxidant activity. The extracts were encapsulated by extrusion; the encapsulation efficiency is 95.2 ± 3.2 % for phenolic compounds and 85.7 ± 2.9 % for glucosinolates. The organoleptic properties of a food product (puff pastry with custard) containing a microencapsulated extract were characterized.*

Keywords: *broccoli, ultrasonic extraction, biologically active substances, phenolic compounds, flavonoids, glucosinolates, encapsulation, extrusion, functional food product.*

Acknowledgements*: The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-16-00243, https://rscf.ru/project/23-16-00243/.*

For citation: Eminova, E. R., Sorokina, A. S, Zabodalova, L. A., Tyutkov N., Alloh P. & Baranenko D.A. (2024). Microencapsulation of extracts obtained from brassica oleracea var. Italica sprouts. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 134-140. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.020. EDN: https://elibrary.ru/DSZSDR.

ВВЕДЕНИЕ

Brassica oleracea var. italica, широко известная как капуста брокколи, является богатым источником биологически активных веществ (БАВ), таких как фенольные соединения (ФС), каротиноиды, витамины группы В, аскорбиновой кислоты, минералов. Важнейшее место среди БАВ растений семейства Крестоцветные занимают глюкозинолаты (ГЗ) - серосодержащие молекулы, уникальные для данного семейства. Их вторичными метаболитами являются сульфорафан и индол-3-карбинол, представляющие большой интерес в последние годы [1]. Эти молекулы способны подавлять развитие рака в нескольких органах у крыс и мышей, включая мочевой пузырь [2], молочную железу [3], печень [4], легкие [5], предстательную железу [6], почки [7], толстую кишку [8] и кожу [9].

Исследования Национального института рака (NCI, США) на животных и эксперименты с клетками, выращенными в лаборатории, выявили несколько потенциальных эффектов, с помощью которых эти соединения могут помочь предотвратить рак:

- защита клеток от повреждения ДНК, инактивация канцерогенов;
- противовирусное, противовоспалительное и антибактериальное действие;
- апоптоз раковых клеток;
- подавление образования кровеносных сосудов опухоли и миграции клеток.

NCI также упомянул, что концентрированная форма сульфорафана, содержащаяся в брокколи, снижает количество клеток острого лимфобластного лейкоза в лабораторных условиях и обладает как профилактическими, так и терапевтическими свойствами при опухолях. Исследования показали, что люди, которые придерживаются диеты, богатой брокколи, имеют меньший риск развития некоторых видов рака [10].

Антиоксидантное действие брокколи, по многим сведениям, обусловлено синергическим эффектом большого числа биологически активных компонентов, среди которых особенно важное место занимают ФС и ГЗ [11].

В клинических исследованиях экстрактов из брокколи, а также основного из её ГЗ – сульфорафана, установлена их полезная роль в профилактике диабета II типа, в частности обеспечение улучшения контроля глюкозы и снижения её выработки в печени [12-13].

БАВ брокколи обусловливают весьма специфический вкус с выраженной горечью, по причине чего капуста не является часто употребляемым в пищу продуктом. В связи с этим, обеспечение доставки БАВ брокколи в составе нейтральных по вкусу микрокапсул может быть весьма перспективным для развития области разработки функциональных пищевых продуктов.

Цель работы – получение функционального пищевого ингредиента на основе БАВ брокколи и применение его в составе пищевого продукта.

МЕТОДЫ

Исследования проводились в Университете ИТМО на базе лабораторий Мегафакультета наук о жизни, а также международного научного центра «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Проведение экстракции. Для установления оптимальных значений извлечения БАВ была выбрана ультразвуковая экстракция в ванне (Град 28-35, Россия). В качестве сырья

были использованы высушенные проростки брокколи (сорт “Калабрезе”, регион происхождения - Волгоградская область). Во всех случаях растворителем была 70 %-ная водно-этанольная смесь. В соответствии с литературными данными [14], такой экстрагент обеспечивает высокий выход не только ГЗ, но и ФС, которые ограниченно растворимы в воде.

В соответствии с выбранными параметрами (гидромодуль (X_1) в диапазоне от 1:25 (-1) до 1:75 (+1), время экстракции (X_2) - от 30 (-1) до 120 (+1) сек, а также мощность ультразвукового воздействия (X_3) - от 100 (-1) до 300 (+1) Вт), была получена матрица трехфакторного эксперимента. Частота ультразвукового воздействия была постоянной и составляла 35 кГц.

Для проведения процесса экстракции к точной навеске сырья приливали объем растворителя и устанавливали мощность и продолжительность в соответствии с планом. Полученные экстракты фильтровали через бумажный фильтр “белая лента” с использованием вакуумного насоса, после чего доводили объем растворителем до метки и подготавливали пробы к анализу.

Исследование БАВ. Для определения суммы ФС использовали метод молекулярной спектрофотометрии. В качестве аналитического сигнала измерялось светопоглощение комплексов ФС с реактивом Фолина-Чокальтеу. Измерения оптической плотности проводили на спектрофотометре SPECTROstar Nano BMG LABTECH (Германия) при длине волны 765 нм (максимум абсорбции). В качестве раствора стандартного образца (РСО) для определения ФС использовали галловую кислоту. Для построения калибровочной кривой приготовили серию из 6 растворов различных концентраций.

Для проведения анализа 1 мл экстракта переносили в колбу на 25 мл, добавляли пятикратный раствор реактива Фолина-Чокальтеу (1:10) и через 5 минут такой же объем 7%-ного раствора карбоната и тщательно перемешивали. Доводили объем до метки экстрагентом и убирали в темное прохладное место на 2 часа для комплексообразования, после чего измеряли оптическую плотность сине-фиолетового раствора при 765 нм [15].

Определение флавоноидов проводили аналогичным способом, использовав в качестве комплексообразователя хлорид алюминия; РСО - раствор кверцетина.

Общее содержание ГЗ определяли методом йодометрического титрования, описанным в работе [16]. Точный объем экстракта помещали в колбу на 500 мл, добавляли 10 мл 10 н раствора гидроксида натрия. Колбу выдерживали в течение двух часов для протекания щелочного гидролиза. По истечении времени в колбу добавляли 150 мл воды, подсоединяли к холодильнику, приливали 11 мл 1 н раствора соляной кислоты и отгоняли 90 мл жидкости в колбу со шлифом на 300 мл, в которую предварительно поместили 100 мл воды и 10 мл аммиачного раствора сульфата цинка. После окончания отгонки в колбу-приемник добавляли 10 мл 0,1 н раствора йода, 5 мл 0,2 % раствора крахмала и 10 мл 10 н соляной кислоты. Колбу закрывали стеклянной крышкой и выдерживали смесь в течение 15 минут. Оставшийся после окисления сероводорода избыток йода оттитровывали 0,1 н раствором тиосульфата натрия. Содержания ГЗ определяли в перерасчете на прогоитрин.

Антиоксидантную активность (АОА) определяли методом перманганатометрического титрования по запатентованной методике [17]. Метод основан на определении объема раствора титранта (экстракта), содержащего антиоксидантные вещества, который будет потрачен на обесцвечивание 0,05 н раствора перманганата калия в 0,24-молярной серной кислоте. Для количественной характеристики величины АОА вводится величина, представляющая собой содержание суммы БАВ восстанавливающего характера в пересчете на кверцетин в 1 мл или 1 г препарата (объекта). Чем выше эта величина, тем более высокой АОА обладает объект.

Инкапсулирование. С учетом таких факторов, как термическая нестабильность БАВ брокколи и способность быстро окисляться, для получения инкапсулированной формы экстракта был выбран метод экструзии на инкапсуляторе Buchi Encapsulator B-390 (Швейцария).

Микроинкапсулирование проводили в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.

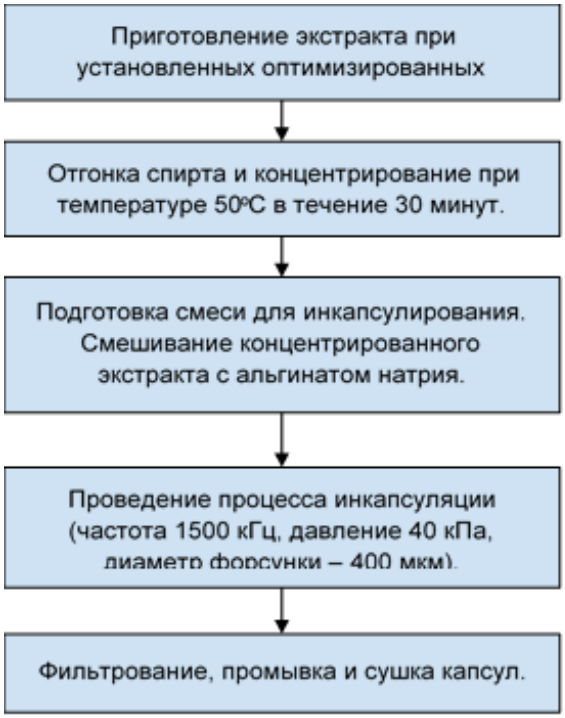


Рисунок 1 – Схема проведения инкапсулирования

Figure 1 – Encapsulation process flowchart

Определение эффективности инкапсулирования проводили в отношении суммы ФС спектрофотометрического определения с реактивом Фолина-Чокальтеу и общего содержания ГЗ методом йодометрического титрования.

Для проведения эксперимента 1 г капсул растворяли в 25-кратном объеме 2 %-ного цитрата натрия. Из полученного раствора отобрали аликвоты с целью проведения анализа содержания БАВ. Для полученных комплексов измерили величину светопоглощения и пересчитывали концентрацию БАВ на массу сначала 1 капсулы, а затем - общую массу капсул.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимизация условий экстракции. Результаты определения суммы фенольных соединений, а также флавоноидов как особенной их группы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения фенольных соединений в экстрактах брокколи
Table 1 – Results of determination of phenolic compounds in broccoli extracts

№	Условия опыта						Содержание флавоноидов, мг/100 г	Общее содержание ФС, мг/100 г
	V, мл	X_1	t, сек	X_2	W, Вт	X_3	$Y_{1ср}$	$Y_{2ср}$
1	25	-1	30	-1	100	-1	45,25±2,0	467,92±13
2	25	-1	120	+1	100	-1	41,0±2,3	422,02±15
3	25	-1	30	-1	300	+1	45,5±4,9	482,12±18
4	25	-1	120	+1	300	+1	36,75±7,1	446,04±16
5	75	+1	30	-1	100	-1	11,25±0,3	621,89±27
6	75	+1	120	+1	100	-1	11,94±1,4	589,1±24
7	75	+1	30	-1	300	+1	12,0±2,2	621,74±11
8	75	+1	120	+1	300	+1	14,25±1,0	603,18±7,9

В соответствии с таблицей 1, увеличение гидромодуля приводило к тому, что степень извлечения флавоноидов существенно снижалась (с 45,25 ± 2,0 г/100 г высушенных проростков до 11,25 ± 0,3 г/100 г). Менее негативным на сумму флавоноидов в экстрактах фактором являлась длительность экстракции. При увеличении времени от 30 до 120 секунд при одинаковых прочих параметрах наблюдалось небольшое снижение содержания флавоноидов (с 45,25 ± 2,0 г/100 мг сырья до 41,00 ± 2,3 г/100 мг). Изменение мощности УЗ-воздействия несколько увеличило степень извлечения ФС.

Для проведения дальнейших исследований были установлены следующие оптимальные параметры экстракции: тип экстракции - ультразвуковая; гидромодуль - 1:25; длительность - 60 сек; мощность - 300 Вт.

С использованием методов математической статистики было получено уравнение регрессии, характеризующие зависимость выхода ФС от исследуемых параметров экстракции. Расчетное значение критерия Кохрена (G_p) при значении доверительного интервала 0,95 для суммы ФС составило 0,39, что меньше табличного G_m=0,68. Таким образом, опыты считаются воспроизводимыми, а дисперсия - однородной. Расчетное значение критерия Фишера также оказалось меньше табличного, что позволяет судить об адекватности описания изучаемого процесса полученным уравнением регрессии.

Были рассчитаны значения коэффициентов уравнения регрессии для суммы фенольных соединений, после чего оно приняло вид:

$$Y= 531,75+77,23X_1-16,68X_2+6,52X_3+3,82X_1X_2-3,04X_1X_3+2,99X_2X_3$$

Далее была проведена оценка значимости коэффициентов регрессии, вследствие чего выяснилось, что коэффициенты b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23} не обладают статистической значимостью. Окончательный вид уравнения регрессии выглядит следующим образом:

$$Y= 531,75+77,23X_1.$$

Расчетные данные по ФС, полученные с использованием уравнения регрессии оказались близки с полученными экспериментально (Y_{1-4}=454,52 мг/100 г; Y_{5-8}=608,98 мг/100 г).

Исследование экстракта. Результаты определения БАВ, а также антиоксидантной активности для экстракта проростков брокколи приведены в таблице 2:

Таблица 2 - Результаты исследования экстракта брокколи
Table 2 – Results of the broccoli extract analysis

Объект	Содержание флавоноидов, мг/100 г*	Сумма ФС, мг/100 г*	Содержание ГЗ, мг/100 г*	АОА, мг/100 г*
Экстракт проростков брокколи	45,5 ± 2,0	482 ± 18	349 ± 16	621 ± 14

*высушенных проростков

Для полученная смеси для инкапсулирования предварительно был приготовлен водный раствор 2%-ного альгината натрия, который постепенно смешивали с равным объемом концентрированного экстракта соцветий брокколи.

Полученную смесь пропускали через форсунку диаметром 400 мкм и подавали в 5%-й раствор хлорида кальция. В ходе проведения процесса инкапсулирования наблюдалось образование ярко-зеленых капсул, а наружный раствор практически не окрашивался. Полученные микрокапсулы изображены на рисунке 1.

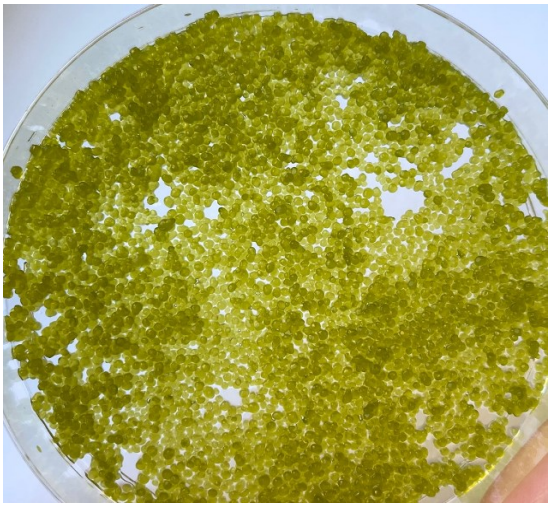


Рисунок 2 – Микроинкапсулированный экстракт брокколи

Figure 2 – Encapsulated broccoli extract

Эффективность инкапсулирования оценивали спектрофотометрическим методом в отношении суммы ФС в пересчете на галловую кислоту и суммы ГЗ в пересчете на прогоитрин методом йодометрического титрования. Результаты определения эффективности представлены в таблице 3.

Таблица 3. Определение эффективности инкапсулирования БАВ брокколи

Table 3 - Determination of the encapsulation efficiency of broccoli bioactive substances

БАВ	Эффективность инкапсулирования, %
ГЗ	85,7 ± 2,9
ФС	95,2 ± 3,2

В соответствии с Методическими рекомендациями МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" суточной нормой адекватного потребления глюкозинолатов (индол-3-карбинол) является 50 мг в сутки. В 1 г капсул содержится 10,8 мг ГЗ. Таким образом, 2 г микрокапсул покрывают более 40 % нормы адекватного потребления ГЗ.

В качестве функционального продукта для внесения БАВ брокколи разрабатывалось кондитерское изделие из слоеного теста с заварным кремом. Для изучения свойств образцов кондитерских изделий проводили исследование следующих органолептических показателей: внешний вид, текстура, вид в разрезе, запах и вкус. Полученное слоеное печенье с добавлением микрокапсул брокколи представлено на рисунках 3а и 3б.



Рисунок 3а – Внешний вид готового слоеного печенья

Figure 3a – Appearance of cooked puff pastry



Рисунок 3б – Слоеное печенье в разрезе

Figure 3b – Cross-sectional view of puff pastry

Наличие микрокапсул в составе крема не оказывало негативных эффектов на показатели качества кондитерского изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в рамках данного исследования результаты открывают возможности для получения физиологически функциональных пищевых ингредиентов – микроинкапсулированных

экстрактов брокколи, которые могут быть использованы при производстве пищевых продуктов для профилактики различных заболеваний – рака, диабета II типа и многих других. При этом содержащиеся в составе экстрактов ФС и ГЗ могут не только обеспечивать физиологическую функциональность ингредиентов, но и выступать в качестве сильных антиоксидантов для стабилизации других компонентов, в случае совместного инкапсулирования, в частности, с полиненасыщенными жирными кислотами.

Для внедрения полученных результатов необходимо проведение дальнейших исследований по применению микроинкапсулированных экстрактов брокколи в технологии функциональных пищевых продуктов антиоксидантного характера, а также исследований их биодоступности и биологических эффектов в отношении профилактики различных заболеваний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jeffery E. H. и др. Variation in content of bioactive components in broccoli // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2003. Т. 16. № 3. С. 323–330. doi: 10.1016/S0889-1575(03)00045-0

2. Zhang Y. и др. Induction of GST and NQO1 in Cultured Bladder Cells and in the Urinary Bladders of Rats by an Extract of Broccoli (Brassica oleracea italica) Sprouts // J Agric Food Chem. 2006. Т. 54. № 25. С. 9370–9376. doi: 10.1021/jf062109h.

3. Singletary K., MacDonald C. Inhibition of benzo[a]pyrene- and 1,6-dinitropyrene-DNA adduct formation in human mammary epithelial cells bydibenzoylmethane and sulforaphane // Cancer Lett. 2000. Т. 155. № 1. С. 47–54. doi: 10.1016/s0304-3835(00)00412-2.

4. Kensler T. W. и др. Effects of Glucosinolate-Rich Broccoli Sprouts on Urinary Levels of Aflatoxin-DNA Adducts and Phenanthrene Tetraols in a Randomized Clinical Trial in He Zuo Township, Qidong, People's Republic of China // Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention. 2005. Т. 14. № 11. С. 2605–2613. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-05-0368.

5. Ritz S. A., Wan J., Diaz-Sanchez D. Sulforaphane-stimulated phase II enzyme induction inhibits cytokine production by airway epithelial cells stimulated with diesel extract // American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology. 2007. Т. 292. № 1. С. L33–L39. doi: 10.1152/ajplung.00170.2006.

6. Canene-Adams K. и др. Combinations of Tomato and Broccoli Enhance Antitumor Activity in Dunning R3327-H Prostate Adenocarcinomas // Cancer Res. 2007. Т. 67. № 2. С. 836–843. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-06-3462.

7. Bosetti C. и др. Micronutrients and the risk of renal cell cancer: A case-control study from Italy // Int J Cancer. 2007. Т. 120. № 4. С. 892–896. doi: 10.1002/ijc.22374.

8. Hashem F. и др. Myrosinase hydrolysates of Brassica oleraceae L. var. italica Plenck // Planta Med. 2011. Т. 77. № 12. doi: 10.1002/ptr.3591.

9. Talalay P. и др. Sulforaphane mobilizes cellular defenses that protect skin against damage by UV radiation // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2007. Т. 104. № 44. С. 17500–17505. doi: 10.1073/pnas.0708710104.

10. Owis A.I. Broccoli; The Green Beauty: A Review // J. Pharm. Sci. & Res. 2015. Т. 7. № 9. С. 696–703.

11. Cartea M. E., Velasco P. Glucosinolates in Brassica foods: bioavailability in food and significance for human health // Phytochemistry Reviews. 2008. Т. 7. № 2. С. 213–229. doi: 10.1007/s11101-007-9072-2.

12. Axelsson A. S. и др. Sulforaphane reduces hepatic glucose production and improves glucose control in patients with type 2 diabetes // Sci Transl Med. 2017. Т. 9. № 394. doi: 10.1126/scitranslmed.aah4477.

13. Mohammed A., Mohammed H. A. Beneficial role of broccoli and its active ingredient, sulforaphane in the treatment of diabetes // Phytomedicine Plus. 2023. Т. 3. № 2. С. 100431. doi: 10.1016/j.phyplu.2023.100431.

14. Ares A. M., Nozal M. J., Bernal J. Extraction, chemical characterization and biological activity determination of broccoli health promoting compounds // J Chromatogr A. 2013. Т. 1313. С. 78–95. doi: 10.1016/j.chroma.2013.07.051.

15. Хуссайне Р., Сучкова Е.П., Арсеньева Т.П. Оптимизация условий экстракции для извлечения фенольных соединений и антиоксидантов из ароматических растений // Вестник Международной академии холода. 2024. № 2. С. 58-63. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-2-58-63.

16. Способ определения глюкозинолатов в семенах крестоцветных: пат. SU 1406481 A1; опубл. 24.04.1984.

17. Способ определения антиокислительной активности: пат. RU 2 170 930 C1 заявл. 05.05.2000; опубл. 20.07.2001.

Информация об авторах

Э. Р. Эминова – аспирант 4 года обучения факультета биотехнологий (ФБТ) Университета ИТМО; сотрудник международного научного центра (МНЦ) «Биотехнологии третьего тысячелетия».

А. С. Сорокина – магистрант 1 года обучения ФБТ Университета ИТМО; сотрудник МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Л. А.Забодалова – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФБТ Университета ИТМО, сотрудник МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Н. Тютьков – аспирант 3 года обучения ФБТ Университета ИТМО, инженер и ассистент ФБТ, сотрудник МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

П. Аллох – аспирант 2 года обучения ФБТ Университета ИТМО, сотрудник МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Д. А. Бараненко – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник ФБТ Университета ИТМО; руководитель МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

REFERENCES

1. Jeffery E. H. and others. (2003). Variation in content of bioactive components in broccoli. *Journal of Food Composition and Analysis*. 16(3). 323–330. doi: 10.1016/S0889-1575(03)00045-0. (In Russ.).

2. Zhang Y. and others. (2006). Induction of GST and NQO1 in Cultured Bladder Cells and in the Urinary Bladders of Rats by an Extract of Broccoli (Brassica oleracea italica) Sprouts. J Agric Food Chem. 54(25). 9370–9376. doi: 10.1021/jf062109h. (In Russ.).

3. Singletary K. (2000). MacDonald C. Inhibition of benzo[a]pyrene- and 1,6-dinitropyrene-DNA adduct formation in human mammary epithelial cells bydibenzoylmethane and sulforaphane. Cancer Lett. 155(1). 47–54. doi: 10.1016/s0304-3835(00)00412-2. (In Russ.).

4. Kensler T. W. and others. (2005). Effects of Glucosinolate-Rich Broccoli Sprouts on Urinary Levels of Aflatoxin-DNA Adducts and Phenanthrene Tetraols in a Randomized Clinical Trial in He Zuo Township, Qidong, People's Republic of China. Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention. 14(11). 2605–2613. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-05-0368. (In Russ.).

5. Ritz S. A., Wan J. & Diaz-Sanchez D. (2007). Sulforaphane-stimulated phase II enzyme induction inhibits cytokine production by airway epithelial cells stimulated with diesel extract // American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology. 292(1). L33–L39. doi: 10.1152/ajplung.00170.2006. (In Russ.).

6. Canene-Adams K. and others. (2007). Combinations of Tomato and Broccoli Enhance Antitumor Activity in Dunning R3327-H Prostate Adenocarcinomas. Cancer Res. 67(2). 836–843. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-06-3462. (In Russ.).

7. Bosetti C. and others. (2007). Micronutrients and the risk of renal cell cancer: A case-control study from Italy. Int J Cancer. 120(4). 892–896. doi: 10.1002/ijc.22374. (In Russ.).

8. Hashem F. and others. (2011). Myrosinase hydrolysates of Brassica oleraceae L. var. italica Plenck. Planta Med. 2011. 77(12). doi: 10.1002/ptr.3591. (In Russ.).

9. Talalay P. and others. (2007). Sulforaphane mobilizes cellular defenses that protect skin against damage by UV radiation. Proceedings of the National Academy of Sciences. 104(44). 17500–17505. doi: 10.1073/pnas.0708710104. (In Russ.).

10. Owis A.I. Broccoli (2015). The Green Beauty: A Review. J. Pharm. Sci. & Res. 7(9). 696–703. (In Russ.).

11. Cartea M. E., Velasco P. (2008). Glucosinolates in Brassica foods: bioavailability in food and significance for human health. Phytochemistry Reviews. 7(2). 213–229. doi: 10.1007/s11101-007-9072-2. (In Russ.).

12. Axelsson A. S. and others. (2017). Sulforaphane reduces hepatic glucose production and improves glucose control in patients with type 2 diabetes. Sci Transl Med. 9(394). doi: 10.1126/scitranslmed.aah4477. (In Russ.).

13. Mohammed A. & Mohammed H. A. (2023). Beneficial role of broccoli and its active ingredient, sulforaphane in the treatment of diabetes. Phytomedicine Plus. 3(2). 100431. doi: 10.1016/j.phyplu.2023.100431. (In Russ.).

14. Ares A. M., Nozal M. J. & Bernal J. (2013). Extraction, chemical characterization and biological activity determination of broccoli health promoting compounds. J Chromatogr A. 1313. 78–95. doi: 10.1016/j.chroma.2013.07.051. (In Russ.).

15. Hussaineh, R., Suchkova, E.P. & Arsenyeva, T.P. (2024). Optimization of extraction conditions for the recovery of phenolic compounds and antioxidants from aromatic plants. Journal of International Academy of Refrigeration. 2. 58-63. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-2-58-63]. (In Russ.).

16. Osik, N.S., Popov, P.S. & Borodulina, A.A. (1986). Method for determination of glucosinolates in cruciferous seeds. Pat. SU 1406481 A1. *USSR, published on 24.04.1986. (In Russ.).*

17. Maksimova, T.V., Nikulina, I.N., Pakhomov, V.P., Shkarina, E.I., Chumakova, Z.V. & Arzamastsev, A.P. (2001). Method for determination of antioxidant activity. Pat. RU 2 170 930 C1. *Russian Federation published on 20.07.2001. (In Russ.).*

Information about the authors

E. R. Eminova, 4-year PhD student of the Faculty of Biotechnology (BioTech), ITMO University. Researcher of the International Research Centre "Biotechnologies of the Third Millennium".

A. S. Sorokina, 1-year master's student of the Faculty of Biotechnology (BioTech), ITMO University. Researcher of the International Research Centre "Biotechnologies of the Third Millennium".

L. A. Zabodalova, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Biotechnology (BioTech). Researcher of the International Research Centre "Biotechnologies of the Third Millennium".

N. Tyutkov, 3-year PhD student of the Faculty of Biotechnology (BioTech), ITMO University. Researcher of the International Research Centre "Biotechnologies of the Third Millennium".

P. Alloh, 2-year PhD student of the Faculty of Biotechnology (BioTech), ITMO University. Researcher of the International Research Centre "Biotechnologies of the Third Millennium".

D. A. Baranenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Biotechnology (BioTech). Head of the International Research Centre "Biotechnologies of the Third Millennium".

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 141–146.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 141–146.

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья
2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
2.6.17 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 669.017
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.021 EDN: TEITCK

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАМЕНЫ ХРОМО-НИКЕЛЕВЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЯНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НИКЕЛЬ-МОЛИБДЕНОВЫМИ

Алёна Александровна Кулемина [1], Илья Моисеевич Ковенский [2], Лариса Зиннуровна Чаугарова [3], Виктор Евгеньевич Овсянников [4],

[1, 2, 3,4] Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
[1] kuleminaaa@tyuiu.ru, ORCID 0000-0003-2076-166X
[2] kovenskijim@tyuiu.ru, ORCID 0000-0003-3241-8084
[3] chaugarovalz@tyuiu.ru, ORCID 0000-0002-6376-2868
[4] vik9800@mail.ru. ORCID0000-0002-8775-0781

Аннотация. Постановка задачи: *представлены результаты исследований, посвященных решению одной из важнейших задач металловедения - защите нефтяного оборудования от коррозии и износа с использованием гальванических покрытий. Рассмотрены гальванические покрытия элементов погружных насосов хромо-никелевыми сплавами, и предложена замена их на никель-молибденовые.* ***Используемые методы:*** *были изготовлены образцы из деталей погружного насоса и контрольные образцы с электролитическими никель-молибденовыми покрытиями. Для получения покрытий использовали лабораторную установку, осаждение велось из сернокислых электролитов. Производился визуальный контроль деталей погружных насосов, определялся химический состав покрытий, микротвердость, пористость, шероховатость и прочность сцепления. Скорость коррозии определяли гравиметрическим методом. Изучение структурных особенностей проводили с помощью оптической и электронной микроскопии.* ***Новизна:*** *проведен сравнительный анализ традиционно используемых хромо-никелевых покрытий с никель-молибденовыми покрытиями. Предложены покрытия, обладающие улучшенными характеристиками.* ***Практическая значимость:*** *предложены оптимальные режимы получения никель-молибденовых покрытий для замены токсичных хромсодержащих покрытий.* ***Результат:*** *установлено, что причиной преждевременного выхода из строя явились коррозионные язвы вследствие недостаточной плотности покрытий детали цилиндр, а также нарушение геометрии детали типа плунжер в следствии нарушенной технологии механической обработки. Сопоставляя ранее полученные результаты, а также проведя дополнительные исследования было установлено, что никель-молибденовые покрытия, содержащие 12,5 и более % Мо можно применять в качестве защитных для деталей плунжерного насоса от коррозионных повреждений.*

Ключевые слова: *гальванические покрытия, свойства покрытий, коррозионная стойкость, эксплуатационные свойства, структура.*

Для цитирования: Кулемина А. А., Ковенский И. М., Чаугарова Л. З., Овсянников В. Е. Перспективы замены хромо-никелевых гальванических покрытий используемых для защиты деталей нефтяного оборудования никель-молибденовыми // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 141 – 146. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.021, EDN: https://elibrary.ru/TEITCK.

© Кулемина А. А., Ковенский И. М., Чаугарова Л. З., Овсянников В. Е., 2024

Original article

PROSPECTS FOR REPLACING CHROMIUM-NICKEL ELECTROPLATING COATINGS USED TO PROTECT PARTS NICKEL-MOLYBDENUM OIL EQUIPMENT

Alena A. Kulemina [1], Ilya M. Kovenskiy [2], Larisa Z. Chaugarova [3], Victor E. Ovsyannikov [4]

[1, 2, 3, 4] Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
[1] kuleminaaa@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0003-2076-166X
[2] kovenskijim@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0003-3241-8084
[3] chaugarovalz@tyuiu.ru, https://orcid.org/0000-0002-6376-2868
[4] vik9800@mail.ru., https://orcid.org/0000-0002-8775-0781

Abstract. *Statement of the problem the results of research devoted to solving one of the most important problems of metallurgy - protection of oil equipment from corrosion and wear using electroplating coatings are presented. Galvanic coatings of elements of submersible pumps with chromium-nickel alloys are considered, and their replacement with nickel-molybdenum alloys is proposed.* ***Methods used:*** *samples were made from submersible pump parts and control samples with electrolytic nickel-molybdenum coatings. To obtain coatings, a laboratory setup was used; deposition was carried out from sulfuric acid electrolytes. Visual inspection of submersible pump parts was carried out, the chemical composition of coatings, micro hardness, porosity, roughness and adhesion strength were determined. The corrosion rate was determined by the gravimetric method. The structural features were studied using optical and electron microscopy.* ***Novelty:*** *a comparative analysis of traditionally used chromium-nickel coatings with nickel-molybdenum coatings was carried out. Coatings with improved characteristics have been proposed.* ***Practical significance:*** *optimal modes for producing nickel-molybdenum coatings to replace toxic chromium-containing coatings have been proposed.* ***Result:*** *it was established that the cause of premature failure was corrosion ulcers due to insufficient density of coatings on the cylinder part, as well as a violation of the geometry of the plunger-type part due to impaired machining technology. Comparing previously obtained results, as well as conducting additional research, it was established that nickel-molybdenum coatings containing 12.5% or more Mo can be used as protection for plunger pump parts from corrosion damage.*

Keywords: *electrolytic coatings, coating properties, resistance to corrosion, operational properties, structure.*

For citation: Kulemina, A. A., Kovenskiy, I. M., Chaugarova, L. Z. & Ovsyannikov, V. E. (2024). Prospects for replacing chromium-nickel electroplating coatings used to protect parts nickel-molybdenum oil equipment. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 141-146. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.021. EDN: https://elibrary.ru/TEITCK.

ВВЕДЕНИЕ

Определение причин повреждения нефтегазового оборудования, преждевременно вышедшего из строя, является одной из типовых задач в области материаловедения. Результаты проведенных исследований позволяю делать выводы о причинах повреждения и разрабатывать рекомендации, направленные на снижение аварийности и увеличения срока эксплуатации изделий. В данной работе проведены исследования, направленные на выявление причин повреждения деталей плунжерных насосов, имеющих износостойкое покрытие, а также проведен сравнительный анализ с покрытиями никель-молибденовыми сплавами для определения возможности замены более токсичных хромсодержащих покрытий.

МЕТОДЫ

В перечень исследований, проводимых в данной работе, вошли методы, позволяющие определить причины преждевременного выхода из строя деталей плунжерного насоса, а также технологии, позволяющие оценить возможность замены используемых хромо-никелевых покрытий на никель-молибденовые. Были проведены макроструктурные исследования деталей плунжерного насоса. Определены твердость основного материала и микротвердость материала покрытий. Оценена пористость покрытий и прочность сцепления с основой. Определена шероховатость покрытий. Проведен химический анализ основного материала и материала покрытий, а также микроструктурные исследования деталей насоса. Проведен сравнительный анализ свойств имеющихся покрытий со свойствами покрытий никель-молибден.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С помощью макроанализа было установлено, что на внутренней поверхности цилиндра имеются местные локализованные поврежде-

ния. В целом внутренняя поверхность достаточно ровная без ярко выраженных признаков износа (рисунок 1). При осмотре наружной поверхности плунжера нет видимых повреждений. Наблюдаются остаточные следы механической обработки и участки сохранившегося покрытия.



Рисунок 1 – Внутренняя поверхность «цилиндра»

Figure 1 – Inner surface of the «cylinder»

Твердость основного металла элементов «насос» и «плунжер» определялась методом Роквелла в соответствии с ГОСТ 9013-59. Твердость плунжера составила 89,6 HRB, а твердость цилиндра 98,3 HRB. Определение прочности сцепления покрытия с основным металлом проводилось по ГОСТ 9.302 методом опиловки. В результате проведения данного исследования сколы и отслоения отсутствуют, сцепление оценено как удовлетворительное. При определении шероховатости поверхности покрытий были проведены измерения профиля поверхности по ГОСТ 2789 с помощью профилометра контактного Mitutoyo SJ-400, результаты приведены в таблице 1.

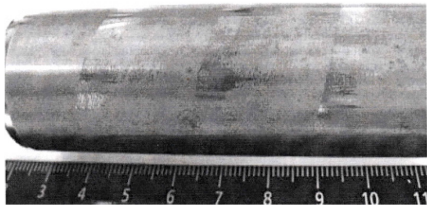


Рисунок 2 – Наружная поверхность «плунжера»

Figure 2 – Inner surface of the «cylinder»

Определение пористости покрытий проводили методом наложения фильтровальной бумаги по ГОСТ 9.302. Результаты приведены в таблице 2.

Определение микротвёрдости покрытий проводили с помощью микротвердомера ПМТ-3М методом восстановленного отпечатка по ГОСТ 9450. Результаты замеров микротвёрдости приведены в таблице 3.

Таблица 1 – Определение параметров шероховатости

Table 1 – Determination of roughness parameters

№	Состав покрытия	Параметры шероховатости		
		Ra	Rz	Rq
1	Покрытие цилиндра	1,35	9,3	1,87
2	Покрытие плунжера	0,38	2,9	0,5
3	Альтернативное покрытие (Ni-5%Mo)	0,11	0,9	0,14
4	Альтернативное покрытие (Ni-12,5%Mo)	0,23	2,6	0,32
5	Альтернативное покрытие (Ni-18%Mo)	0,18	1,4	0,24
6	Альтернативное покрытие (Ni-25%Mo)	0,11	1,8	0,19

Таблица 2 – Определение пористости покрытий

Table 2 - Determination of porosity of coatings

№	Состав покрытия	Площадь испытуемого образца, см2	Количество сквозных пор, шт.	Пористость покрытия, шт/см2
1	Покрытие цилиндра	25	10	0,4
2	Покрытие плунжера	58,5	73	1,25
3	Альтернативное покрытие (Ni-5%Mo)	25	32	1,28
4	Альтернативное покрытие (Ni-12,5%Mo)	25	31	1,24
5	Альтернативное покрытие (Ni-18%Mo)	25	34	1,36
6	Альтернативное покрытие (Ni-25%Mo)	25	10	0,40

Таблица 3 – Определение микротвёрдости покрытий

Table 3 - Determination of microhardness of coatings

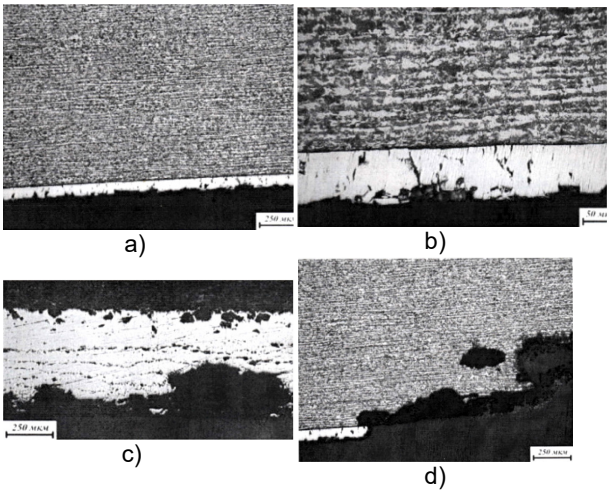
№	Состав покрытия	Размер отпечатка, мкм	Нагрузка, Н	Микротвёрдость, HV
1	Покрытие цилиндра	20,9	1,962	850
2	Покрытие плунжера	21,2	1,962	840
3	Альтернативное покрытие (Ni-5%Mo)	21,2	1,962	840
4	Альтернативное покрытие (Ni-12,5%Mo)	20,9	1,962	850
5	Альтернативное покрытие (Ni-18%Mo)	20,2	1,962	910
6	Альтернативное покрытие (Ni-25%Mo)	18,1	1,962	1140

Определение химического состава покрытия проводили рентгенофлюоресцентным методом с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6510A по ГОСТ 28033. Результаты химического анализа основного материала детали «цилиндр» соответствуют марке стали 20 по ГОСТ 1050, а детали «плунжер» стали 40 по ГОСТ 1050. Результаты определения состава покрытий приведены в таблице 4.

Таблица 4. – Определение химического состава покрытий
Table 4. – Determination of the chemical composition of coatings

№ п/п	Образец	Массовая доля элементов, %							
		Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sn	Si
1	Покрытие цилиндра	77,2	2,0	-	0,02	0,03	0,01	0,01	0,4
2	Покрытие плунжера	16,1	5,1	0,07	74,1	0,05	0,08	-	4,3

Металлографические исследования деталей плунжерного насоса проводили на продольных и касательных к поверхности микрошлифах. Микроструктура основного металла детали «цилиндр» феррито-перлитная, характерная для горячекатаной углеродистой стали с выраженной строчечностью. Толщина покрытия на поверхности цилиндра составляет от 0,06 до 0,75 мм. На неповрежденных участках покрытие с наружной стороны достаточно неровное (рисунок 3a), имеются поры и несплошности размером 10-50 мкм (рисунок 3b). При исследовании на косых шлифах отмечена слоистость покрытия (рисунок 3c). В зоне повреждения, на участке с отсутствующим покрытием наблюдается коррозионная язва с округлым дном. На границах с образовавшимся дефектом наблюдаются коррозионные повреждения под сохранившимся покрытием (рисунок 3d).

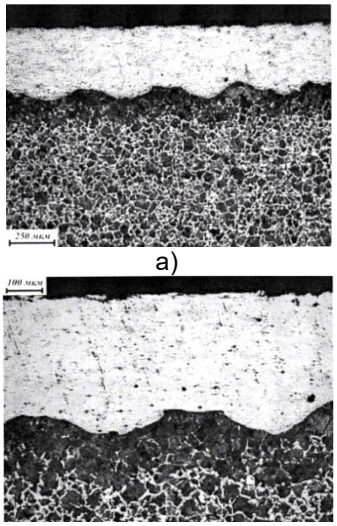


a) b) c) d)

Рисунок 3 – Микроструктура детали «цилиндр»: a - вид покрытия на внутренней поверхности цилиндра; b – вид повреждений покрытия на внутренней поверхности цилиндра; c –слоистость структурыпокрытия на внутренней поверхности цилиндра; d – вид повреждения покрытия и основного металла цилиндра

Figure 3 – Microstructure of the “cylinder” part: a - type of coating on the inner surface of the cylinder; b – type of damage to the coating on the inner surface of the cylinder; c – layered structure of the coating on the inner surface of the cylinder; d – type of damage to the coating and base metal of the cylinder

Микроструктура основного металла детали «плунжер» феррито-перлитная, характерная для среднеуглеродистой стали после нормализации. На поверхности детали имеется покрытие толщиной 0,3-0,35 мм. Покрытие ровное, плотносцепленное с основным материалом, без признаков повреждения и отслаиваний. Разница в толщине покрытия обусловлена наличием следов механообработки. В наружных слоях покрытий наблюдаются единичные поры и неровности покрытия (рисунок 4).



a) b)

Рисунок 4 – Микроструктура детали «плунжер»: a – посновной металл и покрытие плунжера; b – вид покрытия (прямое сечение)

Figure 4 – Microstructure of the “plunger” part: a – base metal and plunger coating; b – type of coating (straight section)

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенных исследований следует отметить, что деталь «цилиндр» имеет интенсивное коррозионное повреждение, связанное с агрессивностью рабочей среды и с локальной сквозной пористостью покрытия. Из-за доступа агрессивной среды к поверхности основного металла имела место быть так называемая подповерхностная коррозия. Наличие пор привело к расширению коррозионного фронта и дальней-

шему разрушению покрытия. Рекомендацией для предотвращения подобного разрушения служит корректировка режимов электроосаждения, в том числе корректировка условий перемешивания электролита, а также повышение требований к контролю пористости покрытий.

Неравномерный износ покрытия детали «плунжер» на цилиндрической поверхности, очевидно связан с отклонением профиля поверхности от параллельности, относительно оси детали, что вероятнее всего вызвано нарушениями технологии изготовления покрытия либо погрешностью в режимах или технологии механической обработки детали. Рекомендуется скорректировать условия механообработки, повысить жесткость системы станок-приспособление-инструмент-деталь, снизить инструментальную погрешность.

Изучив причины повреждения деталей плунжерного насоса был сделан вывод о значительном влиянии качества и состава покрытия на коррозионную стойкость детали. Для определения возможности замены хромоникелевых покрытий на никель-молибденовые были проведены испытания на коррозионную стойкость. Коррозионную стойкость определяли гравиметрическим методом при температуре 70 °С.В качестве агрессивных сред использовали 5 %HCl и 50 % NaOH. Время выдержки в термостате - 25 часов. Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Определение скорости коррозии покрытий
Table 5 – Determination of the corrosion rate of coatings

№	Состав покрытия	Скорость коррозии, г/м2ч	
		5% HCl	50% NaOH
1	Покрытие цилиндра	21,0	0,009
	Покрытие плунжера	76,3	0,009
2	Альтернативное покрытие (Ni-5%Mo)	78,98	0,014
3	Альтернативное покрытие (Ni-12,5%Mo)	12,34	0,009
4	Альтернативное покрытие (Ni-18%Mo)	11,18	0,001
5	Альтернативное покрытие (Ni-25%Mo)	4,25	0,001

В работе [1] установлено, что сплавы никеля с молибденом представляют собой плотные осадки без выраженных дефектов. Учитывая полученные результаты исследований материала покрытий «цилиндра» и «плунжера» и сравнивая их с данными полученными при исследовании никель – молибденовых покрытий, можно предположить, что покрытия, содержащие 12,5 % Mo и более могут заменить хромоникелевые покрытия для защиты деталей плунжерных насосов. Обладая такой же твердостью, меньшей пористостью и высокой коррозионной стойкостью, они могут быть рекомендованы в качестве защитных покрытий для деталей типа «цилиндр» и «плунжер».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги исследования причин повреждения деталей плунжерного насоса следует отметить, что причиной преждевременного выхода из строя стали коррозионные язвы вследствие недостаточной плотности покрытий детали цилиндр, а также нарушение геометрии детали типа плунжер в следствии нарушенной режимов или технологии механической обработки.

Сопоставляя ранее полученные результаты, а также проведя дополнительные исследования было установлено, что никель-молибденовые покрытия содержащие 12,5 % Mo и более можно применять в качестве защитных для защиты деталей плунжерного насоса от коррозионных повреждений и износа.

Рекомендуется повысить требования к методике контроля качества изготовления и к квалитету точности механической обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулемина А.А., Ковенский И.М. Применение электролитических никель-молибденовых покрытий для защиты деталей нефтепромыслового оборудования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. №1. С. 35–41. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-1-35-41

2. Electrochemical deposition and characterization of Ni-Mo alloy powders/ M.G. Pavlović [etc.] // Processing and Application of Ceramics. 2007. 1 [1–2]. P. 11–17

3. Electrodeposition and Characterization of Nanocrystalline Ni-Mo Catalysts for Hydrogen Production/ J. Halim [etc.] // Hindawi Publishing Corporation //Journal of Nanomaterials. 2012, Article ID 845673, 9 pages doi:10.1155/2012/845673

4. Influence of molybdenum on the mechanical properties, electrochemicalcorrosion and wear behavior of electrodeposited Ni-Mo alloy / Nitin P. Wasekar [etc.] // Surface & Coatings Technology. 2019. 370. P. 298–310

5. Allahyarzadeh M.H., Roozbehani B., Ashrafi A. Electrodeposition of high Mo content amorphous/nanocrystalline Ni–Mo alloys using 1-ethyl-3-methyl-imidazolium chloride ionic liquid as an additive // Electrochimica Acta. 2011. 56. Pp.10210–10216

6. Плеханов, И. Ф. Расчет и конструирование устройств для нанесения гальванических покрытий. М.: Машиностроение, 1988. – 224 с.

7. Электролитическое легирование железа и никеля молибденом / В. В. Поветкин [и др] // Металлы, 1997. № 4. С. 41-43.

8. Kulemina, A. A. Kovenskiy I. M., Michiy S. S. Influence of annealing on corrosion properties of electroplated coatings // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. 511 P. 012015 doi:10.1088/1757-899X/511/1/012015.

9. Kulemina, A. A., Kovenskiy I. M. Influence of the Conditions for Obtaining Coatings on the Structure and Properties // Materials Today: Proceedings. 2019. 11. Pp. 311–316.

10. Study of Ni-Mo electrodeposition in direct and pulse-reverse current / Yu. M. Stryuchkova [etc.] // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Volume 857. Issue 1. Pp. 012046.

11. Формирование структуры никель-молибденовых сплавов при электроосаждении и отжиге. / И. М. Ковенский [и др] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. №2. С. 97-100.

12. Бокштейн Б.С. Диффузия в металлах. М.: Металлургия. 1978. 248 с.

13. Влияние условий получения покрытий на структуру и свойства электроосажденного никеля и сплавов на его основе / А.А. Кулемина [и др] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2018. № 3. С. 123-127.

Информация об авторах

А. А. Кулемина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения» Тюменского индустриального университета.

И. М. Ковенский – доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технологии конструкционных материалов» Тюменского индустриального университета.

Л. З. Чаугарова – старший преподаватель кафедры «Материаловедение и технологии конструкционных материалов» Тюменского индустриального университета.

В. Е. Овсянников - доктор технических наук, профессор кафедры«Технологии машиностроения» Тюменского индустриального университета.

Information about the authors

A.A. Kulemina, Assistant of Professor Department of Mechanical Engineering Technologies, Industrial University of Tyumen

I. M. Kovenskiy, DrSc (Eng.), Professor Department of Materials Science and Technology of Structural Materials, Industrial University of Tyumen

L. Z. Chaugarova, Senior Lecturer, Department of Materials Science and Technology of Structural Materials

Industrial University of Tyumen

V. E. Ovsyannikov, DrSc (Eng.), Professor Department of Mechanical Engineering Technologies, Industrial University of Tyumen

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

Статья поступила в редакцию 18 января 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 18 Jan 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 147–152.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 147–152.

Научная статья
2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
УДК 620
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.022 EDN: PHTEQI

УСТАНОВЛЕНИЕ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ НАКЛАДКИ ГРЕЙДЕРНОГО НОЖА ИЗ СТАЛИ 110Г13Х2БРЛ

Нгуен Ши Хай [1], Михаил Алексеевич Гурьев [2], Сергей Геннадьевич Иванов [3], Алексей Михайлович Гурьев [4]

[1, 2, 3, 4] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[2, 3, 4] Уханьский текстильный университет, Ухань, КНР
[2] Zhejiang Briliant Refrigeration Equipment Co., Ltd. КНР

[2] gurievma@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7570-8877
[3] serg225582@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5965-0249
[4] gurievam@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9191-1787

Аннотация. *Высокомарганцовистая аустенитная сталь Гадфильда изготавливается из железа с содержанием углерода 1,0 – 1,4 масс.% и марганца – 10–14 масс.% (обычно с соотношением C:Mn = 1:10). В работе представлены результаты анализа стали 110Г13Х2БРЛ (материала накладки ножа грейдерного), позволяющие понять влияние металлургического качества на фазовую структуру стали и ее механические свойства. В ходе исследований, в частности установлено, что химический состав стали в исследованной отливке «накладка ножа грейдерного» не соответствует требованиям ГОСТ 977 88; сталь имеет недопустимую ликвацию основных компонентов сплава (кремний и марганец) по сечению отливки, одной из причин которой является во-первых, неправильная литниковая система, которая должна была обеспечить ламинарный поток металла в форму, а не турбулентный, а во-вторых, неправильный выбор технологических параметров гомогенизирующего отжига либо его отсутствие в принципе. Помимо вышеперечисленных, также вероятно, что шлак в ковше не убирали (либо применялся ковш, отличающийся от ковшей чайникого или стопорного типов, которые и должны были применяться при разливке таких сталей), а также, наиболее вероятно, что отсутствовала прибыльная часть литниковой системы, которая должна была подпитывать отливку. Что в свою очередь, проявилось в наличии таких дефектов, как усадочные поры. На этой основе можно выбрать соответствующие технологические операции для устранения дефектов микроструктуры литейной стали 110Г13Х2БРЛ.*

Ключевые слова: *аустенитная сталь, микроструктура, твердость, отливки, закалка стали.*

Для цитирования: Нгуен Ши Хай, Гурьев М. А., Иванов С. Г., Гурьев А. М. Установление причин преждевременного выхода из строя накладки грейдерного ножа из стали 110Г13Х2БРЛ // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 147 – 152. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.022, EDN: https://elibrary.ru/PHTEQI.

Original article

ESTABLISHING REASONS FOR PREMATURE WITHDRAWAL OF THE GRADER KNIFE MADE OF 110G13X2BRL STEEL IS OUT OF ORDER

Nguyen Shi Hai[1], Mikhail A. Guryev [2], Sergey G. Ivanov[3], Alexey M. Guryev [4]

[1, 2, 3, 4] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[2, 3, 4] Wuhan Textile University, Wuhan, China
[2] Zhejiang Briliant Refrigeration Equipment Co., Ltd, China.

[2] gurievma@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7570-8877
[3] serg225582@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5965-0249

© Нгуен Ши Хай, Гурьев М. А., Иванов С. Г., Гурьев А. М., 2024

[4] gurievam@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9191-1787

Abstract. *Gadfield's high-manganese austenitic steel is made of iron with a carbon content of 1.0 – 1.4 wt.% and manganese – 10-14 wt.% (usually with a ratio of:Mn = 1:10). The paper presents the results of the analysis of 110G13X2BRL steel (grader knife lining material), which allow us to understand the influence of metallurgical quality on the phase structure of steel and its mechanical properties. In the course of research, in particular, it was established that the chemical composition of the steel in the studied casting "grader knife plate" does not meet the requirements of GOST 977 88; steel has an unacceptable liquation of the main components of the alloy (silicon and manganese) along the casting section, one of the reasons for which is, firstly, an incorrect gate system, which should have provided a laminar flow of metal into the mold, rather than a turbulent one, and secondly, an incorrect choice of technological parameters of homogenizing annealing or its absence in principle. In addition to the above, it is also likely that the slag in the bucket was not removed (or a bucket was used that was different from the kettle or lock type buckets, which were supposed to be used when casting such steels), and also, most likely, that the original part of the gating system was missing, which was supposed to feed the casting. This, in turn, manifested itself in the presence of defects such as shrinkage pores. On this basis, it is possible to select the appropriate technological operations to eliminate defects in the microstructure of cast steel 110G13X2BRL.*

Keywords: *austenitic steel, microstructure, hardness, castings, steel hardening.*

For citation: Nguyen, Shi Hai, Guryev, M. A., Ivanov, S. G. & Guryev, A.M. (2024). Establishing reasons for premature withdrawal of the grader knife made of 110G13X2BRL steel is out of order. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 147-152. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.022. EDN: https://elibrary.ru/PHTEQI.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения ресурса работы рабочих органов горнодобывающей и дорожной техники, а также других деталей машин, подвергающихся интенсивному ударно-абразивному износу, является одной из приоритетных задач материаловедения. При этом возможно решение данной задачи как путем нанесения различных защитно-упрочняющих покрытий, например, методами напыления либо наплавки, химико-термической обработки и т.д. [1–7]. Однако, в случае износа или выхода нанесенного защитно-упрочняющего покрытия из строя, детали будут подвергаться катастрофическому износу. Одним из вариантов решения данной проблемы является применение высокомарганцовистых аустенитных сталей. Данные стали, благодаря способности к самоупрочнению при эксплуатации в режиме действия ударно-абразивных нагрузок, способны непрерывно обновлять упрочненный слой по мере его износа [8]. При этом крайне важно получение аустенитной структуры в готовой детали, для чего отливки подвергаются термической обработке, заключающейся в нагреве стали до температуры аустенизации (ориентировочно 1050–1150 ° С) и последующей закалке в воде [9].

При производстве высокомарганцовистой аустенитной стали необходимо учитывать два основных аспекта: первый заключается в достижении правильного соотношения C:Mn = 1:10. Также для повышения абразивной стойкости стали возможно добавление дополнительных легирующих элементов, таких как хром, никель, молибден, ванадий, титан. Второй аспект предполагает реализацию соответствующего процесса термообработки для получения 100% аустенитной микроструктуры, без перлитных либо мартенситных включений. Одним из вариантов повышения износостойкости высокомарганцовистой аустенитной стали является ее легирование хромом, ниобием и бором: хром в этом случае создает мелкодисперсные карбиды, повышающие стойкость к абразивному износу, а ниобий и бор – повышают прочностные свойства аустенитной матрицы [10–16]. Сталь марки 110Г13Х2БРЛ применяется для изготовления продукции с высоким сопротивлением износу при одновременном воздействии высоких давлений или ударных нагрузок.

При этом, помимо выбора правильной системы легирования и режима термической обработки, крайне важно также соблюдение технологического режима получения отливки: правильности системы питания отливки, температуры заливки и металлургических аспектов, таких как правильный выбор способа приготовления расплава (выбор плавильного агрегата и футеровки печи), а также технологических параметров, металлургической обработки расплава (модифицирование, раскисление и т.п.). В работе представлен анализ влияния металлургического качества высокомарганцовистой аустенитной стали 110Г13Х2БРЛ на ее микроструктуру и свойства готовой детали, в качестве которой выступала накладка ножа грейдера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образец вырезан из готовой отливки грейдерного ножа, изготовленного из стали марки 110Г13Х2БРЛ, прошедшего все необходимые процедуры термической обработки и вышедшего из строя после 180 моточасов эксплуатации по причине катастрофического износа и частичного разрушения.

Анализ химического состава образца производился по сечению и поверхности образцов при помощи оптико-эмиссионного спектрометра

G.N.R. Solaris CCD Plus.

Металлографические темплеты вырезались при помощи прецизионного отрезного металлографического станка «MICRACUT–201», вырезанные темплеты запрессовывались в бакелитовый компаунд на металлографическом прессе «METAPRESS-P». Шлифовку и полировку осуществляли на автоматическом шлифовально-полировальном станке «DIGIPREP» с применением алмазных шлифовальных кругов зернистостью 54, 30, 15, 6 мкм. Полировку осуществляли на сукнах «MET–FOKS» и «MET-Mamba» при помощи алмазных монокристаллических суспензий зернистостью 3, 1, 0,5, 0,2 мкм. Суперфинишную полировку осуществляли кислой суспензией «MET-OPS» зернистостью 0,05 мкм.

Травление для определения структурно-фазового состояния осуществляли 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте, а также реактивом Бераха «10/3». Анализ структурно-фазового состояния и структурных составляющих осуществляли при помощи программного комплекса «Тиксомет ПРО» с использованием оптического микроскопа «Carl Zeiss Axio Observer Z1m» по методикам [19–21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования химического состава образцов стали 110Г13Х2БРЛ показали, что химический состав поверхностных слоёв образца отличается от химического состава сердцевины (таблица 1). Химический состав поверхностных слоёв стали, за исключением содержания кремния, который находится на нижнем пределе, наиболее точно соответствует стали 110Г13Х2БРЛ по ГОСТ 977-88. В сердцевине образца вместе с недостатком кремния обнаружен значительный недостаток марганца. Таким образом, образцы имеют недопустимую зональную ликвацию основных компонентов сплава.

Таблица 1 – Химический состав стали

Table 1 – Chemical composition of steel

Элемент	Содержание элементов, %		
	Поверхность образца	Сердцевина образца	110Г13Л по ГОСТ 977-88
C	1,266±0,28	1,147±0,078	0,90–1,50
Si	**0,289±0,017**	**0,27±0,029**	**0,30–1,00**
Mn	11,835±0,839	**10,783±0,265**	**11,5–14,50**
P	0,048±0,015	0,035±0,003	<0,12
S	0,03±0,006	0,027±0,004	<0,05
Cr	1,129±0,01	1,916±0,007	1,00–2,00
Ni	0,09±0,001	0,087±0,002	<0,50
B	0,004±0,001	0,003±0,001	0,001–0,006
Nb	0,027±0,005	0,025±0,009	0,08–0,12

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Металлографические исследования показали, что структура образцов неоднородна в различных сечениях и содержит большое количество трещин, расслоений, пор и раковин (рисунок 1 а, б). Наружные области образцов состоят из аустенита (рисунок 2 а), в то время как сердцевина – из смеси цементита с небольшим количеством аустенита (рисунок 2 б), что, наряду с множественными трещинами различной природы (рисунок 3), раковинами и порами, является недопустимым дефектом для отливок из любой стали, в том числе и стали 110Г13Х2БРЛ, которая после термической обработки по режиму, указанному в ГОСТ 977-88 «Отливки стальные. Общие технические условия», должна состоять полностью из аустенита, что также соответствует рабочему состоянию аустенитной износостойкой марганцовистой стали [10–18]. Наличие в стали других фаз кроме аустенита резко снижает её механические свойства и служебные характеристики.

Измерения твёрдости в поперечном сечении образцов (рисунок 4) показали, что твердость имеет значительные колебания по сечению образцов. Поверхностные слои металла, состоящие из аустенита (рисунок 1, п. 1), имеют твёрдость НВ 209–214, что свойственно стали 110Г13Х2БРЛ, подвергнутой термической обработке по режиму, указанному в ГОСТ 977-88: твёрдость стали после термообработки по указанному режиму должна составлять НВ 186–229. В то время как внутренние слои исследованных образцов стали, состоящие из смеси аустенита с большим количеством цементита и мартенсита (рисунок 2 б) имеют значительно более высокую твёрдость НВ 304–447, что недопустимо. Наличие в этой области трещин, пор и раковин (см. рисунок 1 б, пп. 3, 4, 5), являющихся концентраторами напряжений, ещё больше снижает прочность стали.

Исходя из результатов исследования, можно предположить, что в данном случае заливка стали в литейную форму осуществлялась с недостаточным перегревом, что в итоге привело к преждевременному и при этом неравномерному процессу кристаллизации металла в форме и как следствие – к зональной ликвации легирующих элементов по поперечному сечению отливки.

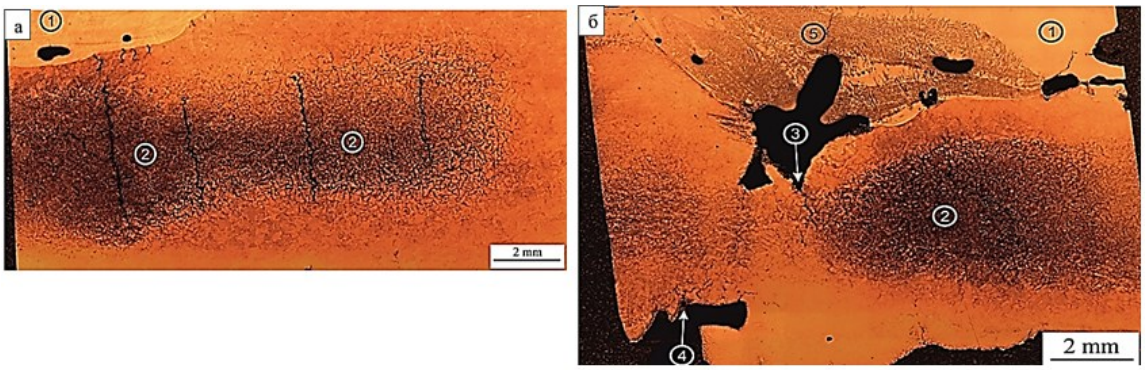


Рисунок 1 – Микроструктура образцов стали 110Г13Х2БРЛ, представленных на исследование

Figure 1 – Microstructure of 110G13X2BRL steel samples submitted for study

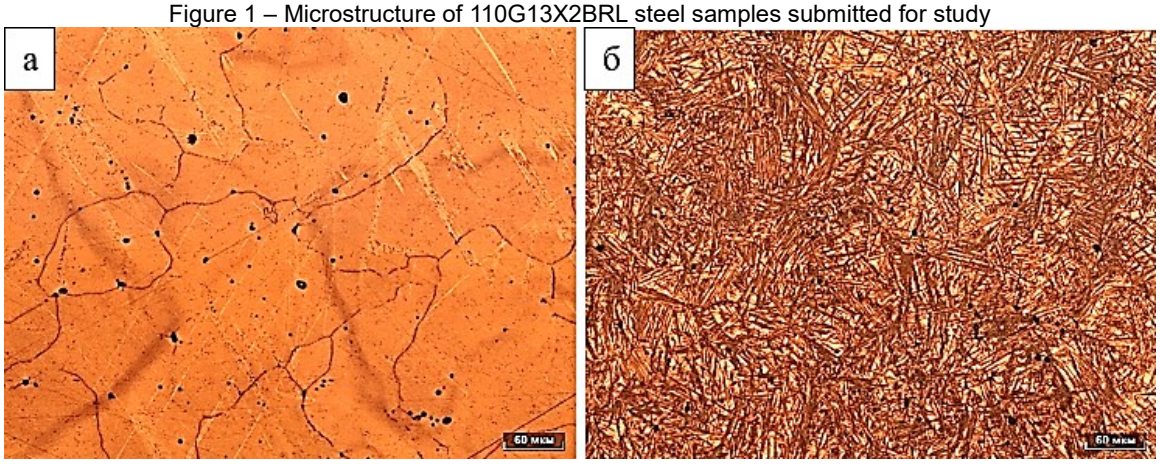


Рисунок 2 – Микроструктура различных участков образцов стали 110Г13Х2БРЛ, представленных на рисунке 1а, где а – п. 1 (аустенит), б – п. 2 (смесь аустенита с большим количеством цементита и мартенситными иглами)

Figure 2 – Microstructure of various sections of the 110G13X2BRL steel samples shown in Figure 1a, where a is point 1 (austenite), b is point 2 (a mixture of austenite with a large amount of cementite and martensitic needles)

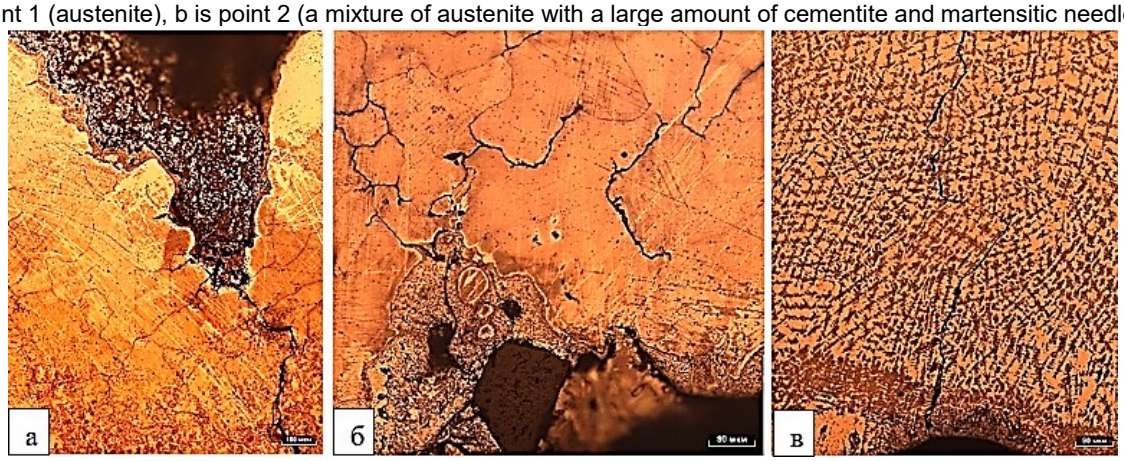


Рисунок 3 – Микроструктура различных участков образцов стали 110Г13Х2БРЛ, представленных на рисунке 1б, где а – п. 3 (дефект со шлаковым включением и трещиной), б – п. 4 (дефект поверхности со шлаковым включением и прослойками карбидов по границам зёрен), в – п. 5

Figure 3 – Microstructure of various sections of 110G13X2BRL steel samples shown in Figure 1b, where a is item 3 (defect with slag inclusion and crack), b is item 4 (surface defect with slag inclusion and carbide interlayers along grain boundaries), c is item 5

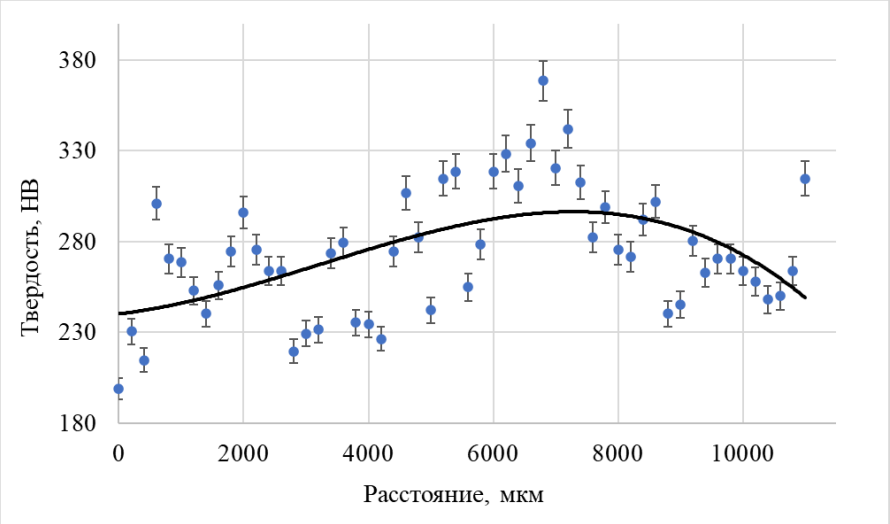


Рисунок 4 – График изменения твёрдости НВ в поперечном сечении образцов
Figure 4 – Graph of changes in the hardness of HB in the cross section of the samples

Кроме того, при наведении расплава стали, не уделялось его должной защите от воздействия атмосферы, либо разливка металла велась в переувлажненные формы ПГС, что в свою очередь привело к значительному газовыделению и образованию развитой пористости по сечению отливок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Помимо того, что химический состав стали не соответствует ГОСТ 977-88, сталь имеет недопустимую ликвацию основных компонентов сплава (кремний и марганец) по сечению отливки – что в свою очередь, привело к формированию неблагоприятной аустенитно-мартенситной структуры в сердцевине детали при последующей термообработке отливки. Причиной таких дефектов в первую очередь является неправильная литниковая система, которая должна была обеспечить ламинарный поток металла в форму. При турбулентном потоке система не может очистить металл от неметаллических включений и шлака, при этом возникает перегрев частей формы и возникает пригар.

2. Внутренняя структура образцов стали содержит большое количество недопустимых дефектов в виде трещин, расслоений, пор и раковин. Судя по рисунку 1 б, расплав не был очищен от шлака перед выпуском из печи, то есть вероятно, что шлак не убирали и в ковше (либо применялся ковш отличающийся от ковшей чайникого или стопорного типов, которые и должны были применяться при разливке таких сталей). Крупные дефекты (рисунок 1, п.3) возникли в результате отсутствия питания в этой части отливки в процессе усадки и затвердевания – другими словами отсутствовала прибыльная часть, которая и должна была подпитывать отливку.

3. Фазовый состав образцов стали неоднороден и представлен участками аустенита, цементита, и смеси цементита, мартенсита и аустенита, что недопустимо для стали 110Г13Х2БРЛ в термообработанном состоянии. Наиболее вероятной причиной этого, наряду с технологическими нарушениями процесса заливки, является неправильный выбор технологических параметров гомогенизирующего отжига либо его отсутствие в принципе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чибряков М.В., Огнев О.Г. Формирование износостойкой структуры чугуна при наплавке рабочих органов почвообрабатывающих машин // Известия Международной академии аграрного образования. 2020. № 50. С. 61-63.

2. Каледа В.Н., Звижинский А.И. Упрочнение рабочих органов землеройных машин наплавкой карбида борида хрома и диборида титана-хрома // В сб.: Вопросы образования и науки: теоретический и методический аспекты. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. 2015. С. 57-60.

3. Аулов В.Ф., Иванайский В.В., Ишков А.В., Кривочуров Н.Т., Полковникова М.В., Рожков Ю.Н. Разработка и исследование нового материала для упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин индукционной наплавкой // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (200). С. 106-111.

4. Лужанский И.Б. Высокоэффективные легированные кремнием износостойкие стали для изготовительной наплавки деталей строительно-дорожной и горнодобывающей техники // Технология металлов. 2011. № 5. С. 19-22.

5. Гурьев А.М., Ворошнин Л.Г., Хараев Ю.П., Лыгденов Б.Д., Черных Е.В. Циклическое тепловое воздействие при термической и химико-термической обработке инструментальных сталей // Фундаментальные проблемы современного материаловеде-

ния. 2005. Т. 2. № 3. С. 37-45.

6. Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Деев В.Б. Технология упрочнения стальных изделий в процессе литья // Литейщик России. 2013. № 6. С. 36-38.

7. Гурьев М.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М. Упрочнение литых деталей поверхностным легированием // сборник научных трудов X международной научно-практической конференции. Барнаул, 2009. С. 40-46.

8. ASM metal handbook, volume 01, 1991. Properties and Selection ferrous Alloys and Special-Purpose materials.

9. ASM metal handbook, volume 04, 1991. Heat treating.

10. Mishra S. A comparative study on the different heat-treatment techniques applied to high manganese steel // Materials Today: Proceedings. 44 (2021) 2517.

11. Souad Ayadi, Ali Hadji. Effect of chemical composition and heat treatments on the microstructure and wear behavior of manganese steel // International Journal of Metalcasting. 6 (2020) 2346

12. Azadi M., Pazuki M. A., Olya M. J. The Effect of New Double Solution Heat Treatment on the High Manganese Hadfield Steel Properties // Metallography, Microstructure, and Analysis (2018) 7:618–626.

13. Гурьев М.А., Иванов А.Г., Иванов С.Г., Гурьев А.М. Упрочнение литых сталей поверхностным легированием из борсодержащих обмазок // Успехи современного естествознания. 2010. № 3. С. 123.

14. Pham K. M., Le T. T., Le N. T., Vu T. A., Vu Q. V., Nguyen N. D. Effect of Element Addition and Heat Treatment Process on the Properties of High Manganese Steel // International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology. Vol.9 (2019) 4 1289.

15. Alrobei, H., Malik, R.A., Amjad, F., Albaijan, I. Investigation of Structure and Mechanical Characteristics of a High Manganese Steel via SolidCast Simulation Method // Metals 2023, 13, 572.

16. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Гурьев М.А., Шунчи М., Власова О.А. Борирование малоуглеродистой стали // Raleigh, 2015. – 158с.

17. Fernández Tamayo ML, Mondelo García F, Parada Expósito A, et al. Influencia del tratamiento térmico sobre microestructura y dureza de esteras en acero Hadfield con cromo // Ingeniería Mecánica. 2022;25(1) e637

18. Ayadia S., Hadjia A., Hakanb K., Selman D. Microstructure and wear behavior of a Cr-Mo-Nb alloyed manganese steel // j mater res technol. 2020 9 (xx) 11545.

19. Иванов С.Г., Гурьев М.А., Гурьев А.М., Романенко В.В. Фазовый анализ боридных комплексных диффузионных слоев на углеродистых сталях при помощи цветного травления // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. Т. 17. № 1. С. 74-77.

20. Иванов С.Г., Гурьев А.М., Земляков С.А., Гурьев М.А., Романенко В.В. Особенности методики подготовки образцов для автоматического анализа карбидной фазы стали Х12Ф1 после цементации в вакууме с применением программного комплекса "Thixomet PRO" // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 165-168.

21. Иванов С.Г., Гурьев А.М., Земляков С.А., Гурьев М.А. Методика пробоподготовки образцов высоколегированных сталей для автоматического анализа карбидной фазы // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 102-105.

Информация об авторах

Нгуен Ши Хай – аспирант Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

С. Г. Иванов – д.т.н., в.н.с. Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, профессор Уханьского текстильного университета.

М. А. Гурьев – к.т.н., доцент каф. «МТиО» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, профессор Уханьского текстильного университета. Технический директор Zhejiang Briliant Refrigeration Equipment Co., Ltd.

А. М. Гурьев – д.т.н., профессор, зав. каф. «НГиГ», Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, профессор Уханьского текстильного университета.

Information about the authors

Nguyen Shi Hai is a post-graduate student of the Polzunov Altai State Technical University.

S. G. Ivanov – Doctor of Technical Sciences, lead researcher of the Polzunov Altai State Technical University, professor of Wuhan Textile University.

M. A. Guryev - Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the department "MTiO" of the Polzunov Altai State Technical University, professor of Wuhan Textile University, Technical Director Zhejiang Briliant Refrigeration Equipment Co., Ltd.

A. M. Guryev – Professor, Doctor of Technical Sciences, head of the NGiG Department, Altai State Technical University, professor of Wuhan Textile University.

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 153–159.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 153–159.

CC BY

Научная статья
2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678: 678.4
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.023
EDN: OSCXAZ

ДИНАМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО ПОЛИМЕРА, ПОЛУЧЕННЫХ ЖИДКОФАЗНЫМ СОВМЕЩЕНИЕМ ИХ ЛАТЕКСОВ

Акмырадов Ахмет [1], Ибрагимов Марат Ансарович [2], Рахматуллина Алевтина Петровна [3]

[1, 2, 3] Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия
[1] akmyradow_2015@mail.ru
[2] ibragimovmarat2008@yandex.ru
[3] rah-al@yandex.ru

Аннотация. *Наноматериалы привлекают большое внимание благодаря своим уникальным свойствам, таким как очень малый размер, большая площадь поверхности и поверхностная активность. Такие нанонаполнители используются в рецептурах резиновых смесей с целью улучшения физико-механических и динамических свойств вулканизатов.*

Бутадиен-стирольный каучук (БСК) - коммерчески успешный синтетический эластомер с превосходной технологичностью и постоянным ростом спроса на него при разработке «зеленых» шин с хорошими динамическими и физико-механическими свойствами, низким сопротивлением качению и лучшим сцеплением с мокрой дорогой. Однако, БСК чувствителен к теплу, свету и кислороду из-за ненасыщенности молекулярной структуры. Следовательно, его механические свойства в процессе эксплуатации изделий на его основе ухудшаются и сокращается срок их службы. Использование нанонаполнителей, которые могут придать устойчивость к окислению и улучшить физико-механические и динамические свойства, представляет интерес как с научной, так и с практической точек зрения. В данной работе приведены результаты исследования динамических и физико-механических свойств наполненных резин на основе бутадиен-стирольного каучука СКС-30 АРКМ-15. Он модифицирован нанодисперсным функционализированным полимером (ФП), синтезированным из стирола, дивинилбензола и этиленгликольдиметакрилата. С целью равномерного диспергирования частиц ФП в каучуковой матрице использован способ жидкофазного совмещения их латексов. Методом динамического светорассеяния исследованы гранулометрические составы латексных частиц СКС-30 АРКМ-15, функционализированного полимера и их смесевого латекса. Поверхностное натяжение латексов определено методом отрыва кольца (метод Дю Нуи). Исследовано влияние содержания ФП на динамические и физико-механические свойства полученного армированного композита. В исследованиях использованы стандартные методы определения упруго-прочностных свойств резин. Изучены физико-механические свойства до и после термоокислительного старения при температуре 100°С в течение 24 ч резин на основе исходного каучука СКС-30 АРКМ-15 и его модифицированных образцов. Методом динамического термомеханического анализа определены их динамические свойства (модуль упругости и тангенс угла потерь). Композиты на основе каучуков, модифицированных функционализированным полимером в количестве 10 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука, характеризуются улучшенными динамическими и физико-механическими показателями. Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета.

Ключевые слова: *Бутадиен-стирольный каучук, жидкофазная модификация, сшитый полимерный функционализированный нанонаполнитель, динамические и физико-механические свойства резин.*

Для цитирования: Акмырадов А., Ибрагимов М. А., Рахматуллина А. П. Динамические и физико-механические свойства вулканизатов на основе смесей бутадиен-стирольного каучука и функционализированного полимера, полученных жидкофазным совмещением их латексов // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 153 – 159. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.023, EDN: https://elibrary.ru/OSCXAZ.

© Акмырадов А., Ибрагимов М. А., Рахматуллина А. П., 2024

Original article

DYNAMIC AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF VULCANIZATES BASED ON BLENDS OF BUTADIENE-STYRENE RUBBER AND FUNCTIONALIZED POLYMER OBTAINED BY LIQUID-PHASE COMBINATION OF THEIR LATEXES

Akmyradov Akhmet [1], Ibragimov Marat Ansarovich [2], Rakhmatullina Alevtina Petrovna [3]

[1, 2, 3] Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
[1] akmyradow_2015@mail.ru
[2] ibragimovmarat2008@yandex.ru
[3] rah-al@yandex.ru

Abstract. *Nanomaterials attract a lot of attention due to their unique properties, such as their very small size, large surface area and surface activity. Such nanofillers are used in formulations of rubber compounds in order to improve the physico-mechanical and dynamic properties of vulcanizates. Styrene butadiene rubber (BSC) is a commercially successful synthetic elastomer with excellent manufacturability and a constant increase in demand for it in the development of "green" tires with good dynamic and physico-mechanical properties, low rolling resistance and better grip on wet roads. However, BSC is sensitive to heat, light and oxygen due to the unsaturated molecular structure. Consequently, its mechanical properties deteriorate during the operation of products based on it and their service life is shortened. The use of nanofillers, which can give resistance to oxidation and improve physico-mechanical and dynamic properties, is of interest both from a scientific and practical point of view. This paper presents the results of a study of the dynamic and physico-mechanical properties of filled rubbers based on styrene-butadiene rubber SKS-30 ARKM-15. It is modified by a nanodisperse functionalized polymer (FP) synthesized from styrene, divinylbenzene and ethyleneglycoldimethacrylate. For the purpose of uniform dispersion of FP particles in a rubber matrix, a method of liquid-phase combination of their latexes was used. The granulometric compositions of latex particles SKS-30 ARKM-15, functionalized polymer and their mixed latex were studied by the method of dynamic light scattering. The surface tension of the latexes is determined by the ring separation method (Du Nouy method). The effect of the FP content on the dynamic and physico-mechanical properties of the resulting reinforced composite is investigated. The research uses standard methods for determining the elastic-strength properties of rubbers. The physico-mechanical properties of rubbers based on the initial rubber SKS-30 ARKM-15 and its modified samples were studied before and after thermo-oxidative aging at a temperature of 100 ° C for 24 hours. Their dynamic properties (modulus of elasticity and tangent of the loss angle) were determined by the method of dynamic thermomechanical analysis. Composites based on rubbers modified with a functionalized polymer in the amount of 10 wt.h. per 100 wt.h. of rubber are characterized by improved dynamic and physico-mechanical properties. The study was conducted using the equipment of the Center for Collective Use "Nanomaterials and Nanotechnology" of the Kazan National Research Technological University.*

Keywords: *Styrene-butadiene rubber, liquid-phase modification, cross-linked polymer functionalized nanofillers, dynamic and physico-mechanical properties of rubbers.*

For citation: Akmyradov A., Ibragimov M. A. & Rakhmatullina, A. P. (2024). Dynamic and physico-mechanical properties of vulcanizates based on blends of butadiene-styrene rubber and functionalized polymer obtained by liquid-phase combination of their latexes. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 153-159. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.023. EDN: https://elibrary.ru/OSCXAZ.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что резиновые изделия являются хорошими изоляционными и эластичными материалами благодаря своим стабильным физическим и химическим свойствам, но механические параметры должны быть усилены, чтобы дополнить эксплуатационные характеристики [1-3]. Армирование и модификация наполнителей является одной из важнейших технологий повышения механических и других свойств композитов на основе синтетических каучуков [4-7]. Диспергирование различных наполнителей в резиновой матрице позволяет получать требуемые физико-механические и другие ценные свойства вулканизатов каучуков и имеет большое значение для применения конструкционных резиновых материалов [8, 9]. Композит бутадиен-стирольного каучука (БСК) эмульсионной полимеризации, являющийся одним из самых высокопроизводительных синтетических каучуков, широко применяется в производстве шин, лент, шлангов и медицинского

оборудования и др. [10]. Армирование БСК наполнителем не только усиливает резиновую матрицу, но также может изменить динамические, физико-механические, газонепроницаемые, огнезащитные и другие свойства [10, 11].

Динамические и физико-механические свойства резиновых материалов являются одними из важных свойств резиновых композитов, в частности, включая резину шин, демпфирующий материал и другие области, которые могут отражать фактические характеристики резиновых изделий в различных условиях [12, 13]. Во многих работах изучались динамические и физико-механические свойства резино-полимерных материалов на основе каучуков, модифицированных различными наполнителями, в том числе техническим углеродом, кремнеземом, графитом, целлюлозой и органоглиной [14-17].

В настоящее время интенсивно разрабатываются направления по получению, изучению свойств и применению различных нанодисперсных материалов для создания высокоэффективного композиционного материала.

Функционализированные полимеры (ФП) являются одними из новых продуктов, представляющих интерес в качестве наполнителей резиновых смесей. ФП - это полимерные микрогели, которые состоят из сильно «сшитого» ядра и оболочки с поверхностными функциональными группами. Они имеют сферическую форму размером 10-100 нм. Примером могут служить микрогели Нанопрен, выпускаемые фирмой Ланксес. Нами ФП синтезированы на основе стирола, дивинилбензола и этиленгликольдиметакрилата по методике, приведенной в [18].

Конкретное сочетание резиновой матрицы и наполнителя обычно зависит от размера частиц и физических свойств наполнителя, которые отличаются от исходного эластомерного материала.

Считают, что эффективность использования наночастиц в качестве наполнителей связана с их хорошей совместимостью с резиновой матрицей и способностью равномерно диспергироваться в ней в виде отдельных частиц. При этом, чем выше отношение удельной поверхности к объемной доле наночастиц, тем больше вероятность химического и физического взаимодействия с резиновой матрицей [19].

В последние годы широко исследовались возможности включения наноразмерных наполнителей в полимерные композиты с целью улучшения не только их механических свойств, но также для улучшения термических характеристик [20]. В работах [21, 22] было обнаружено, что добавление наночастиц SiO_2 может повысить термическую стабильность многих полимеров.

Цель работы заключается в улучшении динамических и физико-механических свойств вулканизатов на основе СКС-30 АРКМ-15 путем его модификации функционализированным полимером.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Состав резиновой смеси: каучук СКС-30 АРКМ-15, ГОСТ 11138-78 (ОАО «Синтез-Каучук», г. Стерлитамак), выделенный из его латекса (характеристики латекса: содержание сухого остатка – 20 мас. %, pH=9,8, вязкость каучука по Муни – 48 ед. Муни, поверхностное натяжение – 63 мН/м); технический углерод К-354 (ГОСТ 7885-86); оксид цинка (ГОСТ 202-84); альтакс (ГОСТ 7087-54); сера (ГОСТ 127.4-93); стеариновая кислота (ГОСТ 6484-96); дифенилгуанидин (ГОСТ 40-80).

В качестве модификатора в латекс каучука СКС-30 АРКМ-15 вводили ФП – латекс белого цвета, полученный методом эмульсионной полимеризации при следующем составе сомономеров (% мас.): стирол – 20, дивинилбензол – 60, этиленгликольдиметакрилат – 20 в присутствии ПАВ – лаурилсульфата натрия и состабилизатора гексадекана. Содержание сухого остатка – 30 мас. %, pH=7,8, поверхностное натяжение – 60 мН/м.

Бутадиен-стирольный латекс СКС-30 АРКМ-15 модифицировали ФП до его коагуляции. Модификацию проводили путем жидкофазного смешения указанных латексов в течение 10 минут при температуре 50 °С и скорости перемешивания 350 об/мин; дозировка ФП составляла 5,10 и 15 мас. ч. на 100 мас. ч. в пересчете на «сухой» каучук. Модифицированный каучук выделяли коагуляцией по известной методике с последующей промывкой и сушкой [23]. Контрольные образцы подвергались аналогичной процедуре.

Анализ гранулометрического состава полимерных частиц латексов исходного каучука и опытного сополимера, а также их смесевого латекса проведен на анализаторе размеров частиц Malvern Zetasizer Nano S (Malvern Instruments Ltd., Великобритания).

Поверхностное натяжение определяли методом отрыва кольца (метод Дю Нуи) на тензиометре K6 фирмы KRUSS при комнатной температуре.

Рецептура базовой (контроль) и экспериментальных резиновых смесей (РС) приведена в табл. 1. Их получение проводили в резиносмесителе «Brabender» в течение 15 мин. при температуре вальцев 70°С. Для вулканизации бутадиен-стирольного каучука использовали серную вулканизующую систему. Вулканизацию РС проводили при температуре 150°С в течение 60 мин.

В исследованиях были использованы стандартные методы определения физико-механических свойств. Физико-механические показатели определяли на разрывной машине РМИ-250 со скоростью движения нижнего зажима 500 мм/мин. по ГОСТ 270-75; твердость по Шору – по ГОСТ 263-75. Эластичность по отскоку по ГОСТ

27110-86, сопротивление раздиру по ГОСТ 262-93. Динамические свойства вулканизатов (модуль упругости и тангенс угла механических потерь) определяли методом динамического термомеханического анализа (ДТМА) на приборе DMA 242 C фирмы NETZSCH при частоте 1 Гц, нагрузке 1Н, интервал температуры нагрева – от комнатной до 350 °С, скорость нагрева – 3 °С/мин.

Таблица 1 – Рецептура базовой и опытных резиновых смесей

Table 1 – Formulations of basic and advanced rubber compounds

Наименование ингредиента	Контроль	Опытные РС. Содержание ФП в каучуке, мас. ч.		
		5	10	15
Каучук СКС-30 АРКМ-15	100			
Каучук СКС-30 АРКМ-15, модифицированный ФП	-	105	110	115
Технический углерод (К-354)	50,0	45,0	40,0	35,0
Оксид цинка	5,0	5,0	5,0	5,0
Альтакс	3,0	3,0	3,0	3,0
Сера	2,0	2,0	2,0	2,0
Стеариновая кислота	1,5	1,5	1,5	1,5
Дифенилгуанидин	0,3	0,3	0,3	0,3

Стойкость к термическому старению оценивали по результатам испытаний физико-механических показателей после выдержки образцов при температуре 100°С в течение 24 ч (ГОСТ 9.024-74).

Влияние ФП на параметры вулканизированной сетки оценивали по значениям плотности цепей сетки, рассчитанным по уравнению Флори-Ренера на основе данных о равновесном набухании вулканизатов в толуоле при температуре 23 (± 2)°С.

ОБСУЖДЕНИЕ

Потребление энергии на транспорте составляет более 20% от общего потребления энергии в мире, при этом 20–30% потребления топлива приходится на шины, а сопротивление качению протектора шины составляет 42–54% от сопротивления всей шины [24]. Увеличение расхода топлива означает, что будет выделяться больше углекислого газа. С растущей озабоченностью по поводу сохранения ресурсов и защиты окружающей среды, спрос на высокопроизводительные шины становится все более актуальным. С точки зрения материалов, ключевым узким местом в снижении сопротивления качению шин является разработка нового вида усовершенствованных эластомерных полимерных нанокомпозитов, адаптированных для протектора шин.

Основной стадией работы являлось получение и исследование свойств вулканизатов на основе СКС-30 АРКМ-15, модифицированных ФП.

В результате модификации методом жидкофазного совмещения латекса СКС-30 АРКМ-15 и синтезированного латекса ФП, установлено, что латексы хорошо совмещаются, сохраняя стабильность смесевого латекса (содержание сухого остатка – 23,10 % мас.; поверхностное натяжение – 64 мН/м). Такой показатель, как размер частиц латексов, является важным параметром, который определяет его свойства и применение. Чем меньше средний диаметр частиц, тем более однородным и стабильным будет латекс. Поэтому представляло интерес исследовать изменение размеров частиц латекса до и после модификации. Исходные латексы СКС-30 АРКМ-15 и ФП до модификации имели диаметр частиц 29,84 нм и 5,07 нм, соответственно. Частицы смесевого (модифицированного) латекса характеризуются средним диаметром частиц 14,35 нм, что свидетельствует о его стабильности.

Улучшение динамических свойств резины является актуальной задачей современной индустрии. Одним из методов улучшения динамических свойств резины является добавление модификаторов, таких как специальные аддитивы и наполнители. Эти компоненты способны улучшить эластичность, амортизацию и сцепление шины с дорогой, делая ее более устойчивой к переменным нагрузкам и воздействию окружающей среды. Это особенно важно для автомобильной и шинной промышленности, где надежность и безопасность играют решающую роль.

В результате проведенного исследования установлено, что опытный образец, содержащий 5 мас.ч. ФП, проявляет более высокое значение модуля упругости (рис. 1), и образцы, содержащие 5 и 10 мас.ч. ФП, характеризуются более низкими значениями тангенса угла механических потерь (tgδ) по сравнению с контрольным образцом (рис. 2). Это является прямым свидетельством [25] значительного улучшения степени диспергирования ФП внутри резиновой матрицы и, соответственно, повышение комплекса физико-механических свойств резин.

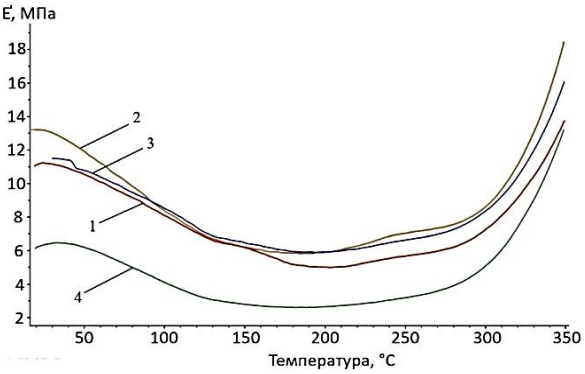


Рисунок 1 - Кривые зависимости модуля упругости (E′) от температуры (частота 1 Гц, нагрузка 1Н) для образцов резин на основе СКС-30 АРКМ-15, модифицированного ФП в количестве, мас.ч. на 100 мас.ч. каучука: *1* – контроль (без ФП), *2* – 5; *3* - 10, *4* - 15

Figure 1 – Curves of elastic modulus (E′) dependence on temperature (frequency 1 Hz, load 1N) for rubber samples based on SKS-30 ARCM-15 modified with FP in the amount, wt.% per 100 wt.% of rubber: 1 - control (without FP), 2 - 5; 3 - 10, 4 - 15

Результаты динамических механических испытаний показывают снижение tgδ при температуре ниже 100°С у резин, содержащих 5 и 10 мас.ч. ФП и лучше на 20-22% стойкость к динамическим нагрузкам по сравнению с контрольной резиной (рис. 2).

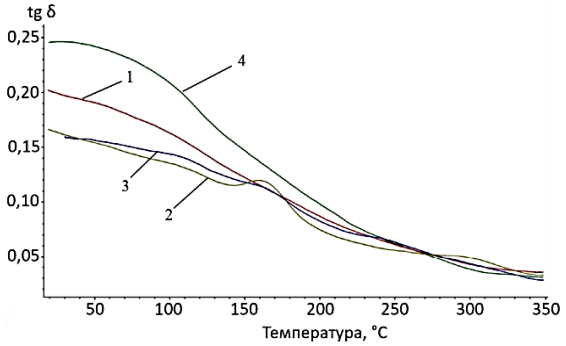


Рисунок 2 - Кривые зависимости тангенса угла механических потерь (tgδ) от температуры (частота 1 Гц, нагрузка 1Н) для образцов резин на основе СКС-30 АРКМ-15, модифицированного ФП в количестве, мас.ч. на 100 мас.ч. каучука: *1* – контроль (без ФП), *2* – 5; *3* - 10, *4* - 15

Figure 2 – Curves of dependence of mechanical loss angle tangent (tgδ) on temperature (frequency 1 Hz, load 1N) for rubber samples based on SKS-30 ARCM-15 modified with FP in the amount, wt.h. per 100 wt.h. of rubber: 1 - control (without FP), 2 - 5; 3 - 10, 4 - 15

Результаты испытаний (табл. 2) показали, что опытные вулканизаты превосходят контрольный образец по совокупности физико-механических свойств, таких как условная прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, эластичность по отскоку и сопротивление раздиру.

Установлено, что заметное улучшение свойств опытных вулканизатов (увеличение условной прочности при растяжении - на 29 %, эластичности по отскоку - на 12 % и сопротивления раздиру - на 68 % по сравнению с контрольным вулканизатом) происходит при модификации каучука функционализированным полимером в количестве 10 мас.ч. на 100 мас. ч. полимера.

Модифицированные вулканизаты на основе СКС-30 АРКМ-15 обладают значительно лучшей термостойкостью, оцениваемой по изменению упруго-прочностных свойств в условиях старения, по сравнению с контрольным образцом (табл. 2). Оптимальной является дозировка модификатора 10 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука, при которой наблюдается сохранение на 18% условной прочности при растяжении.

Таблица 2 - Физико-механические показатели образцов резин до старения и изменение показателей после термоокислительного старения

Table 2 - Physical-mechanical performance of rubber samples before aging and changes in indicators after thermal-oxidative ageing

Наименование показателя	Контроль	Опытные РС. Содержание ФП в каучуке, мас. ч.		
		5	10	15
F_p	13,1	14,8	16,9	13,8
ε_p	300	320	310	330
ε_o	4	4	4	4
S	33	38	37	37
H	59	52	52	52
B	24,0	29,0	40,2	22,8
Коэффициенты старения (100°С х 24 ч)				
K_{fp}	0,67	0,76	0,79	0,71
$K_{\varepsilon p}$	0,56	0,73	0,71	0,63
K_S	0,91	0,79	0,81	0,81
K_H	1,20	1,25	1,25	1,16

Примечание: К – коэффициент термостойкости, F_p - условная прочность при растяжении, МПа; ε_p – относительное удлинение при разрыве, %; ε_o - относительное остаточное удлинение после разрыва, %; Н – твердость по Шору А, усл. ед.; S – эластичность по отскоку, %; В – сопротивление раздиру, кН/м

Улучшение свойств опытных резин, можно

объяснить, как показано в [26], образованием в объеме эластомерной матрицы сетки физических связей как между частицами ФП, так и между ФП и макромолекулами каучуков и, возможно, обусловлено более высокой плотностью химически связанных цепей сетки по сравнению с контрольным образцом (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты исследования вулканизационной сетки вулканизатов

Table 3 – Results of the study of vulcanization mesh of vulcanizates

Наименование показателя, единица измерения	Контроль	Содержание ФП в каучуке, мас.ч.		
		5	10	15
M_c, г/моль	2620	2366	2330	2808
$\nu_{хим.}$, $1*10^4$, моль/см^3	4,20	4,65	4,76	3,92
ϕ, %	164	151	153	207

Примечание: M_c – средняя молекулярная масса цепи между узлами сетки; $\nu_{хим.}$ - плотность химически связанных цепи сетки и ϕ - степень набухания

В результате, введение ФП в количестве 10 мас.ч. приводит к повышению значений плотности поперечного сшивания вулканизатов на основе СКС-30 АРКМ-15 в 1,13 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена модификация бутадиен-стирольная каучука функционализированным полимером методом жидкофоазного совмещения их латексов. На основе модифицированных каучуков получены вулканизаты. Установлено, что наличие ФП в составе каучука способствует комплексному улучшению практически значимых свойств резины (динамических и физико-механических) по сравнению с немодифицированным каучуком:

- опытный образец, содержащий 5 мас.ч. ФП, характеризуется более высоким значением модуля упругости по сравнению с контрольным образцом. Это является прямым свидетельством значительного улучшения степени диспергирования функционализированного полимера в каучуковой матрице;

- стойкость к динамическим нагрузкам выше на 20-22% у резин, содержащих 5 и 10 мас.ч. ФП, по сравнению с контрольной резиной, о чем свидетельствуют меньшие значения показателя tgδ при температурах в интервале 25-100°С.

- физико-механические характеристики резин на основе модифицированных каучуков улучшаются по сравнению с контрольным образцом. Можно отметить значительный рост значений условной прочности для опытных резин, причем более высокие значения отмечаются для резин с содержанием 10 мас.ч. ФП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. S. Ramarad, M. Khalid, C.T. Ratnam, A.L. Chuah, W. Rashmi. Waste tire rubber in polymer blends: a review on the evolution, properties and future, Prog. Mater. Sci. 72 (2015), 100–140.

2. S. Sinha Ray, M. Okamoto. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing, Prog. Polym. Sci. 28 (2003), 1539–1641.

3. H. Zhu, X. Xiao, Z. Guo, X. Han, Y. Liang, Y. Zhang, C. Zhou. Adsorption of vanadium (V) on natural kaolinite and montmorillonite: characteristics and mechanism, Appl. Clay Sci. 161 (2018), 310–316.

4. A. Malas, P. Pal, S. Giri, A. Mandal, C.K. Das. Synthesis and characterizations of modified expanded graphite/emulsion styrene butadiene rubber nanocomposites: mechanical, dynamic mechanical and morphological properties, Nanocompos. Part B: Eng. 58 (2014), 267–274.

5. R. Peter, V.R. Vijay, S. Ramakrishnan, R. Sukumar, A.R.R. Menon. Phosphorylated Cashew Nut Shell Liquid prepolymer modified kaolin as a reinforcing filler for natural rubber, Appl. Clay Sci. 105–106 (2015), 186–191.

6. S. Prasertsri, N. Rattanasom. Fumed and precipitated silica reinforced natural rubber nanocomposites prepared from latex system: mechanical and dynamic properties, Polym. Test. 31 (2012), 593–605.

7. L. Lv, S. Bai, H. Zhang, J. Wang, J. Xiao, J. Yang. Dynamic properties of glass-fiber-cored lead-wire reinforced rubber nanocomposites, Mater. Sci. Eng., A 429 (2006) 124–129.

8. Y. Zhang, Q. Liu, R.L. Frost. Quantitative characterization of kaolinite dispersibility in styrene-butadiene rubber nanocomposites by fractal dimension, Polym. Nanocompos. 36 (2015), 1486–1493.

9. Z. Zhang, X. Lu, P. Su. Dispersion of kaolin powders in silica sols, Appl. Clay Sci. 49 (2010), 51–54.

10. Y. Zhang, Q. Liu, S. Zhang. Y. Zhang, Y. Zhang, P. Liang, Characterization of kaolinite/styrene butadiene rubber composite: mechanical properties and thermal stability, Appl. Clay Sci. 124–125 (2016), 167–174.

11. Z.F. Wang, B. Wang, N. Qi, H.F. Zhang, L.Q. Zhang. Influence of fillers on free volume and gas barrier properties in styrene-butadiene rubber studied by positrons, Polymer 46 (2005), 719–724.

12. L.M. Stadtmueller, K.R. Ratinac, S.P. Ringer. The effects of intragallery polymerization on the structure of PMMA–clay nanocomposites, Polymer 46 (2005), 9574–9584.

13. S.Q.X. Fu. Polymer–clay nanocomposites exfoliation of organophilic montmorillonite nanolayers in polystyrene, Polymer 42 (2001), 807–813.

14. P.D. Michael Alexandre. Polymer-layered silicate nanocomposites preparation, properties and

uses of a new class of materials, Mater. Sci. Eng. 18 (2000), 1–63.

15. Y. Zhang, Q. Liu, Q. Zhang, Y. Lu. Gas barrier properties of natural rubber/kaolin nanocomposites prepared by melt blending, Appl. Clay Sci. 50 (2010), 255–259.

16. E. Picard, A. Vermogen, J. Gerard, E. Espuche. Barrier properties of nylon 6-montmorillonite nanocomposite membranes prepared by melt blending: influence of the clay content and dispersion state Consequences on modelling, J. Membr. Sci. 292 (2007), 133–144.

17. J.W. Gilman. Flammability and thermal stability studies of polymer layered-silicate clay nanocomposites, Appl. Clay Sci. 15 (1999), 31–49.

18. Галкина, Н.В. Синтез и исследование свойств фунционализированных полимерных наполнителей / Н.В. Галкина, А.П. Рахматуллина, М.А. Ибрагимов, З.А. Саитбатталова, И.Ш. Насыров // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – №24. – С. 45-48.

19. Обрехт, В. Nanoprene продлит срок службы автомобильных шин / В. Обрехт // Каучук и резина. - 2009. - № 2. - С. 33-35.

20. K. Chrissafis, K.M. Paraskevopoulos, E. Pavlidou, and D. Bikiaris. Thermal degradation mechanism of HDPE nanocomposites containing fumed silica nanoparticles, Acta, 2009, vol. 485, nos. 1–2, pp. 65–71.

21. G. Antoniadis, K.M. Paraskevopoulos, A. Vassiliou, D.N. Bikiaris, K. Chrissafis. Comparative study of the effect of different nanoparticles on the mechanical properties and thermal degradation mechanism of in situ prepared poly(ε-caprolactone) nanocomposites, Comp. Sci. Technol., 67 (2007), p. 2165.

22. K.M. Paraskevopoulos, G.Z. Papageorgiou, K. Chrissafis, D.N. Bikiaris J. Appl. Thermal and dynamic mechanical behavior of bionanocomposites: Fumed silica nanoparticles dispersed in poly(vinyl pyrrolidone), chitosan, and poly(vinyl alcohol), Polym. Sci., 110 (2008), p. 1739.

23. Галкина, Н.В. Модификация эмульсионных бутадиен-стирольных каучуков функционализированными полимерными наполнителями / Н.В. Галкина, М.А. Ибрагимов, З.А. Саитбатталова, Б.С. Гришин, А.Г. Лиакумович // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2015. -№4. – С. 23-27.

24. Qifei Wu, Ling Liu, Junquan Meng, Shilin Liu, Jiong Hui, Xue Wang, Lin Xu, Liqun Zhang. Microstructure and Performance of Green Tire Tread Based on Epoxidized Solution Polymerized Styrene Butadiene Rubber and Epoxidized Natural Rubber. Industrial & Engineering Chemistry Research 2023, 62 (13), 5582-5593.

25. Богоявленская, Е.В. Свойства вулканизатов и резиновых смесей на основе БСК, модифицированных литийорганическими инициаторами, содержащими аминостиролы. Богоявленская Е.В., Будеева А.В., Вольфсон С.И. // Каучук и резина. – 2019. - №.3. - Т78. - С. 152-155.

26. Багряшов С.В. Влияние сшитого эластичного нанодисперсного полимерного материала на упруго-гистерезисные свойства резин: дис. … канд. тех. наук. Казань, 2011. 163 с.

Информация об авторах

А. Акмырадов – аспирант кафедры технологии синтетического каучука Казанского национального исследовательского технологического университета.

М.А. Ибрагимов - кандидат технических наук, доцент кафедры технологии синтетического каучука Казанского национального исследовательского технологического университета.

А.П. Рахматуллина – доктор технических наук, профессор кафедры технологии синтетического каучука Казанского национального исследовательского технологического университета.

Information about the authors

A. Akmyradov – Ph.D student of the Department Technology of synthetic rubber, Kazan National Research Technological University.

M. A. Ibragimov – Ph.D., associate professor of the Department Technology of synthetic rubber, Kazan National Research Technological University.

A. P. Rakhmatullina – doctor of Technical Sciences, professor of the Department Technology of synthetic rubber, Kazan National Research Technological University.

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 160–168.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 160–168.

CC BY

Научная статья
2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
2.6.17 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 620.18
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.024 EDN: NPLSYO

АГЛОМЕРАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НАПОЛНЕННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА

Елена Андреевна Бобина [1], Максим Петрович Данилаев [2], Владимир Александрович Куклин [3], Сергей Алексеевич Карандашов [4], Константин Владимирович Файзуллин [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия
[1] eabobina@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-0196-1693
[2] danilaev@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7733-9200
[3] iamkvova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4254-5837
[4] seregak2005@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7608-6531
[5] KVFayzullin@kai.ru, https://orcid.org/0009-0003-4507-058X
[3] Казанский федеральный университет, Казань, Россия

Аннотация. *В статье рассматривается актуальная проблема агломерации дисперсных частиц при формировании наполненных полимерных материалов. В исследовании проведен анализ влияния предварительной обработки дисперсных частиц и выбора товарной формы исходного полимерного материала на размеры и концентрацию агломератов. В качестве объекта исследования выбраны композиты на основе ПММА с субмикронными частицами оксида алюминия. Применение ультразвуковой обработки и капсулирования частиц полистиролом показало их высокую эффективность в снижении концентрации и размеров агломератов. Результаты экспериментов подтвердили, что наиболее оптимальные параметры агломерации достигаются при сочетании ультразвуковой обработки с капсулированием, а также выборе оптимальной товарной формы полимера.*

Ключевые слова: *полимерные композиты, агломерация дисперсных частиц, капсулирование, полиметилметакрилат, субмикронные частицы оксида алюминия, размер агломератов частиц.*

Благодарности: *Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер № 075-03-2024-067 от 17.01.2024.*

Для цитирования: Агломерация дисперсных частиц при формировании наполненного полимерного материала / Е. А. Бобина [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 160 – 168. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.024, EDN: https://elibrary.ru/NPLSYO.

Original article

DISPERSED PARTICLES AGGLOMERATION DURING FORMATION OF FILLED POLYMER MATERIAL

Elena A. Bobina [1], Maxim P. Danilaev [2], Vladimir A. Kuklin [3], Sergej A. Karandashov [4], Konstantin V. Fayzullin [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia
[1] eabobina@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-0196-1693
[2] danilaev@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7733-9200
[3] iamkvova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4254-5837
[4] seregak2005@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7608-6531
[5] KVFayzullin@kai.ru, https://orcid.org/0009-0003-4507-058X
[3] Kazan Federal University, Kazan, Russia

Abstract. *The article deals with the urgent problem of agglomeration of dispersed particles in the formation of filled polymeric materials. The study analyzes the influence of pretreatment of dispersed particles*

© Бобина Е. А., Данилаев М. П., Куклин В. А., Карандашов С. А., Файзуллин К. В., 2024

and the choice of commercial form of the initial polymeric material on the size and concentration of agglomerates. Composites based on PMMA with submicron particles of alumina oxide were chosen as the object of research. The application of ultrasonic treatment and encapsulation of particles with polystyrene showed their high efficiency in reducing the concentration and size of agglomerates. The experimental results confirmed that the most optimal parameters of agglomeration are achieved by combining ultrasonic treatment with encapsulation, as well as by choosing the optimal commercial form of polymer.

Keywords: *polymer composites, agglomeration of dispersed particles, encapsulation, polymethyl methacrylate, submicron aluminum oxide particles, particle agglomerate size.*

Acknowledgements*: Scientific research was carried out with the financial support of the Russian Ministry of Education and Science, Agreement No. 075-03-2024-067 dated 01/17/2024.*

For citation: Bobina, E. A., Danilaev, M. P., Kuklin, V. A., Karandashov, S. A. & Fayzullin, K. V. (2024). Dispersed particles agglomeration during formation of filled polymer material. *Polzunovskiy vestnik.* (3), 160-168. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.024. EDN: https://elibrary.ru/NPLSYO .

ВВЕДЕНИЕ

Разработка полимерных композитов с дисперсными наполнителями представляет собой важное направление в современной науке материаловедения. Основная цель таких разработок – создание материалов с определенным набором требуемых свойств [1, 2]. В таких исследованиях особое внимание уделяется комбинированию функциональных и механических характеристик в дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалах (ДПКМ).

В последнее время наблюдается рост числа публикаций, посвященных разработке и исследованию ДПКМ с комплексом различных физико-технических свойств [1–9]. Так, в работах [1, 3] приводятся результаты исследований ДПКМ, обладающих биоцидным эффектом в сочетании с повышенными прочностными характеристиками. Например, в работе [1] предложен ДПКМ на основе полиметилметакрилата (ПММА) с добавлением частиц ZrO_2, проявляющих не только биоцидный эффект, но и упрочняющих полимер. Наряду с повышенными механическими характеристиками ДПКМ обеспечивают стабильность тепловых характеристик [2, 5], требуемые реологические характеристики [4, 10], снижение радиозаметности [11–13] изделий из полимерных материалов. Несмотря на то, что большая часть проблем, стоящих на пути создания таких материалов уже решена, основным ограничением их практического применения остается недостаточная адгезия между дисперсными частицами и полимерной матрицей [14]. Эта проблема приводит к формированию вакуолей вокруг частиц и агломератов, что негативно сказывается не только на механических, но и на функциональных характеристиках таких ДПКМ [15–17].

Обобщение результатов исследований по агломерации дисперсных частиц в ДПКМ [3, 18–21] указывает на то, что основной механизм агломерации связан с неупругими столкновениями дисперсных частиц наполнителя на различных стадиях формирования материала, например, в процессе предварительной подготовки порошка дисперсных частиц, а также в процессе гомогенизации дисперсных частиц с полимером.

Важно подчеркнуть, что частота столкновений ν дисперсных частиц на стадии гомогенизации ДПКМ зависит не только от их концентрации [22], но и от характера их взаимодействия с полимерной матрицей, в частности, от трения и изменения вязкости. Например, в работе [3] показано изменение частоты столкновений частиц в зависимости от изменения вязкости расплава ДПКМ при его наполнении дисперсными частицами. Повышение концентрации частиц увеличивает частоту столкновений ν, в то же время улучшение их взаимодействия с полимерной матрицей и повышение вязкости расплава ДПКМ приводит к её уменьшению и, следовательно, к снижению концентрации агломератов. Одновременное действие этих двух механизмов агломерации предполагает наличие экстремумов в концентрационной зависимости параметров агломерации, что косвенно подтверждается в литературе [3, 23]. Оценить частоту столкновений дисперсных частиц при гомогенизации ДПКМ, учитывая многофакторности этого процесса, фактически невозможно.

Отсутствие количественных методов оценки параметров процесса агломерации и их связи с параметрами технологического процесса затрудняет разработку методик уменьшения агломерации в ДПКМ. Анализ результатов исследований физико-технических свойств различных ДПКМ [22–24] позволяют установить только качественную зависимость параметров агломерации с технологией формирования ДПКМ. Причем, обычно в качестве параметра технологического процесса рассматривают только концентрацию частиц наполнителя [22, 23].

Целью данной работы является определение влияния параметров технологического процесса (предварительной обработки дисперсных частиц, товарной формы исходного полимерного материала) на изменение размеров и концентрации агломератов дисперсных частиц.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образование агломератов возможно в порошке до его введения в полимерную матрицу и

при гомогенизации порошка в полимере. Поэтому в данной работе получали два типа образцов I и II, соответствующие двум вариантам образования агломератов: в исходном порошке и в полимерной матрице соответственно.

При исследованиях в качестве полимерной матрицы выбран ПММА в силу его прозрачности в видимой области, что позволило наблюдать и анализировать параметры неоднородностей в объеме образцов с применением оптической микроскопии. Под товарной формой исходного полимерного материала будем понимать форму бисера (размером 30-500 мкм) и гранул (размером 2-3 мм). В качестве наполнителя использовались субмикронные частицы оксида алюминия (Al_2O_3), обладающие формой, близкой к сферической. Это существенно упрощало обработку микрофотографий электронного микроскопа.

Для исследования влияния изменения взаимодействия между наполнителем и полимерной матрицей использовалась предварительная обработка субмикронных частиц Al_2O_3 путем их капсулирования полистиролом, обладающим хорошей, вплоть до сополимеризации, совместимостью с ПММА [25].

При капсулировании на поверхности дисперсных частиц Al_2O_3 формировалась полимерная оболочка из полистирола с использованием парофазного метода, описанного в [26]. Суть метода заключается в создании двухфазного газового потока исходных частиц Al_2O_3, их диспергировании в коронном электрическом разряде и последующим смешиванием с парами стирола. В процессе конденсации стирола и его полимеризации на поверхности диспергированных и заряженных частиц формируется полимерная оболочка. Наличие оболочки на поверхности фиксировалось с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а ее толщину определяли по разности размеров исходных и капсулированных частиц. Размеры частиц определялись по результатам статистической обработки микрофотографий [26].

Образцы типа I получали на предметном стекле после испарения воды, в которой происходило диспергирование частиц Al_2O_3. Диспергирование частиц осуществляли двумя методами, указанными в таблице 1 (механическим и ультразвуковым перемешиванием).

Образцы типа II на основе ПММА и диспергированных частиц Al_2O_3 формировались методом литья под давлением при следующих условиях: температура расплава 190 ± 5 °С, температура формы – 200 ± 5 °С; длительность выдержки образцов под давлением – 10 минут; время охлаждения образцов – 60 ± 10 минут. Охлаждение происходило естественным путем при температуре окружающего воздуха 24 ± 2 °С. Размеры образцов составляли 120х20х3 мм. Концентрация частиц Al_2O_3 составляла 1 ± 0,1 % (по массе).

Условия получения различных типов образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация образцов

Table 1 – Classification of samples

Тип образцов	Номер образцов	Материал	Тип частиц полимера	Наличие оболочки полистирола	Тип перемешивания
I	1	Al_2O_3	-	Нет	Мех.
	2	Al_2O_3		Нет	УЗ
	1’	Al_2O_3		Да	Мех.
	2’	Al_2O_3		Да	УЗ
II	3	ПММА+Al_2O_3	бисер	Нет	Мех.
	4	ПММА+Al_2O_3		Нет	УЗ
	3’	ПММА+Al_2O_3		Да	Мех.
	4’	ПММА+Al_2O_3		Да	УЗ
	5	ПММА+Al_2O_3	гранулы	Нет	Мех.
	6	ПММА+Al_2O_3		Нет	УЗ
	5’	ПММА+Al_2O_3		Да	Мех.
	6’	ПММА+Al_2O_3		Да	УЗ

Для установления взаимодействия капсулированных и исходных частиц с ПММА анализировались изображения, полученные на сканирующем электронном микроскопе. Микрофотографии поверхности сколов образцов получали на электронном микроскопе Carl Zeiss AURIGA Cross Beam с ЭДВ Inca X-Max 80 мм^2.

Для анализа размеров и определения концентрации агломератов применялся метод оптической микроскопии и статистический анализ снимков в программном комплексе ImageJ. Микрофотографии получали на различных участках по длине образцов, с изменением фокусного расстояния по глубине материала. С использованием векторного графического редактора Adobe Illustrator фиксировались те агломераты, которые находились в фокусной плоскости и обладали четко выраженными контурами.

Статистическая обработка изображений агломератов проводилась в программе ImageJ, на

основе которой формировалась функция распределения агломератов по их размерам. Применяемый оптический микроскоп марки Микромед с адаптером FMA050 от Touptek Photonics и увеличением в 40 раз позволял оценить диаметры агломератов до ~1 ± 0.1 мкм.

Микрофотографии исходных и капсулированных частиц, полученных на электронном микроскопе Carl Zeiss AURIGA Cross Beam с ЭДВ Inca X-Max 80 мм^2, без полимерной матрицы использовались для анализа их размеров в диапазоне 10-200 нм. Методика обработки микрофотографий аналогична описанной выше.

В [27] показано, что распределение субмикронных частиц описывается логарифмически нормальным распределением (ЛНР). В большинстве случаев для всего ансамбля частиц свойственно бимодальное распределение с ЛНР для каждой моды [19,28]. Поэтому для контроля размеров частиц в диапазоне от 10 нм до 20 мкм использованы оба метода электронной и оптической микроскопии.

По результатам обработки микрофотографий СЭМ и оптического микроскопа построены функции плотности вероятности $P(d)$ логнормального распределения размеров исходных частиц и их агломератов для каждого образца с помощью обобщенной формулы:

$$P(d) = \frac{1}{d \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln d - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

где d – диаметр исходных частиц и их агломератов; μ – математическое ожидание величины $\ln d$; σ – стандартное отклонение величины d.

Для построения бимодального распределения в случае образцов типа II воспользовались постоянством концентрации (по массе) частиц оксида алюминия при допущении, что плотность частиц оксида алюминия и плотности их агломератов равны:

$$m_1 + m_2 = \rho \cdot (V_1 \cdot K_1 + V_2 \cdot K_2) = \rho_{дисп} \quad (2)$$

где m_1, m_2 – масса наноразмерных частиц и агломератов частиц соответственно; V_1 и K_1 – средний объем одной частицы и концентрация частиц нанометрового размера в измерительном объеме, V_2 и K_2 – средний объем одного агломерата и концентрацию агломератов в измерительном объеме; ρ – плотность оксида алюминия, $\rho_{дисп}$ – плотность дисперсной фазы.

Концентрация агломератов K_2 образцов типа II определялась как:

$$K_2 = \frac{N_2}{V_{изм}}, \left[шт / см^3\right] \quad (3)$$

где $V_{изм}$ – измерительный объем образцов, исследуемый с помощью микроскопа, N_2 – количество агломератов, содержащееся во всем измерительном объеме.

Далее, по измеренной концентрации агломератов K_2, определялась концентрация наноразмерных частиц K_1 по формуле (2).

Тогда функция распределения частиц или их агломератов по размерам в общем виде:

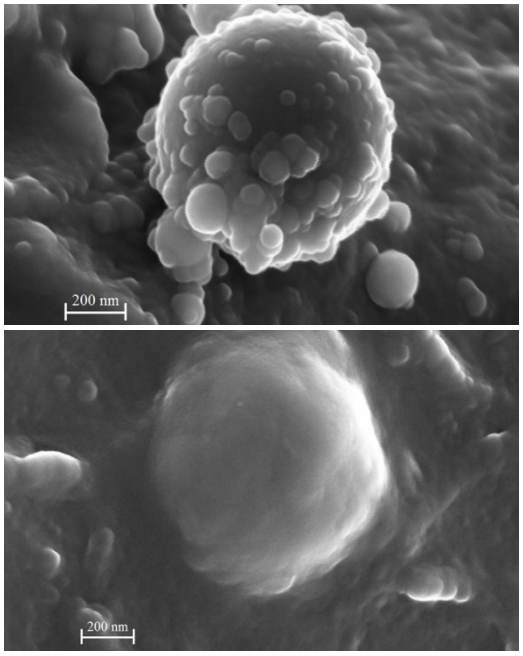
$$C_i(d) = K_i \cdot P_i(d), \quad (4)$$

где K_i – концентрация наноразмерных частиц или агломератов, i = 1 для наноразмерных частиц, i = 2 для агломератов.

Для образцов типа I использовались аналогичные выражения, но величина C_I рассчитывалась исходя из концентрации частиц на измерительной площади образца, исследуемой с помощью микроскопа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование взаимодействия диспергированных частиц Al_2O_3 (капсулированных и не капсулированных), с ПММА осуществлялось с помощью анализа изображений, полученных с использованием сканирующего электронного микроскопа. На рисунке 1 представлены изображения, полученные с поверхностных сколов образцов типа II (таблица 1).



а)

б)

Рисунок 1 – СЭМ-изображения образцов ДПКМ с частицами Al_2O_3 *а* – исходными, *б* – капсулированными

Figure 1 – SEM images of DPKM samples with Al_2O_3 particles a - initial, b - encapsulated ones

Следует отметить, что изображение капсулированных частиц возможно было получить только в режиме отраженных электронов (рис.1б), а не вторичных электронов [29]. Фактически капсулированные частицы находились на

сколах образцов под слоем матричного полимера, в отличии от частиц не капсулированных. Это подтверждает более эффективное взаимодействие капсулированных частиц с полимерной матрицей по сравнению с некапсулированными частицами [26].

По результатам обработки микрофотографий некапсулированных и капсулированных наноразмерных частиц определены их размеры, математическое ожидание и стандартное отклонение. По формуле (1) определены функции распределения для некапсулированных и капсулированных наноразмерных частиц. Мода некапсулированных наноразмерных частиц составила 34,7 нм, капсулированных – 37 нм.

Результаты экспериментальных исследований по определению размеров агломератов частиц Al_2O_3 и их концентрации в этих образцах приведены в таблице 2.

Здесь D – мода агломератов, C_{Imax} (C_{IImax}) – концентрация агломератов, соответствующая моде.

На основании полученных параметров построены функции распределения агломератов по их размерам (рис. 2 и 3).

Таблица 2 – Основные параметры бимодальных функций с ЛНР

Table 2 – Basic parameters of bimodal functions with Log-normal distribution

Тип образца	Номер образца	Мат. ожидание μ	Дисперсия σ	D, мкм	C_{Imax} (C_{IImax}), шт/см^2 (шт/см^3)	Амплитуда моды наноразмерных частиц, $\cdot 10^6$
I	1	8,6	0,2	5,0	70,82	-
	2	8,5	0,3	4,6	64,7	-
	1’	8,6	0,2	4,9	66,9	-
	2’	8,6	0,3	4,9	54,5	-
II	3	9,7	0,6	10,9	(8,3)	1,4
	4	9,5	0,4	11,2	(0,1)	1,4
	3’	9,6	0,7	9,0	(0,2)	1,3
	4’	9,7	0,7	9,5	(0,1)	1,3
	5	9,4	0,6	8,1	(2,2)	1,9
	6	8,9	0,4	6,6	(0,7)	1,9
	5’	9,3	0,6	7,1	(4,4)	1,9
	6’	9,3	0,6	7,1	(1,6)	1,9

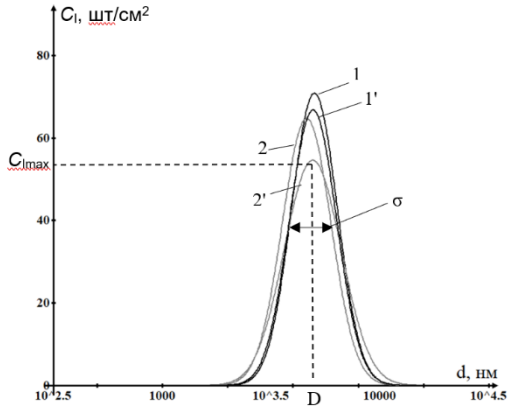


Рисунок 2 – Функции распределения агломератов по их размерам для образцов типа I

Figure 2 – Agglomerate size distribution functions for type I samples

Результаты показывают, что в исходных частицах образуются агломераты. Мода этих агломератов практически не зависит от способа перемешивания и от наличия полимерной оболочки. Концентрация агломератов уменьшается при использовании ультразвукового воздействия и уменьшается при капсулировании. Как показал анализ микрофотографий СЭМ и оптической микроскопии, функция распределения по размерам исходных частиц является бимодальной с отчетливо различимыми модами нанометрового и микронного размеров. В области перекрытия диапазонов измерения электронной и оптической микроскопии на экспериментальных функциях распределения частиц по размерам не наблюдается каких-либо дополнительных пиков. Каждая из экспериментально наблюдаемых мод имеет близкое к логарифмически нормальному распределению.

Здесь левая часть бимодальных распределений представляет собой распределение дисперсных частиц, а правая часть – их агломератов. Характер изменений в функциях распределения, для остальных образцов с различной товарной формой выпуска исходного полимерного материала, аналогичен рисунку 3.

Из таблицы 2 видно, что образцы 3', 4', 5', 6' по сравнению с 3, 4, 5, 6 показали уменьшение моды агломератов (D), а образцы 5’ и 6’ показали увеличение концентрации агломератов, соответствующей моде (C_{IImax}) по сравнению с образцами 5 и 6, что указывает на меньшую склонность к агломерации капсулировании дисперсных частиц. Следовательно, применение капсулирования может способствовать уменьшению

размеров агломератов частиц в ДПКМ, но с увеличением их концентрации.

Размеры агломератов в образцах I типа почти в 2 раза ниже размеров агломератов в образцах II типа. Однако следует отметить, что в образцах II типа на размеры агломератов влияет товарная форма выпуска исходного полимерного материала (бисер, гранулы). При использовании бисера размеры агломератов увеличиваются, но их концентрация падает. При использовании гранул размеры агломератов меньше, чем для бисера, но их концентрация растет.

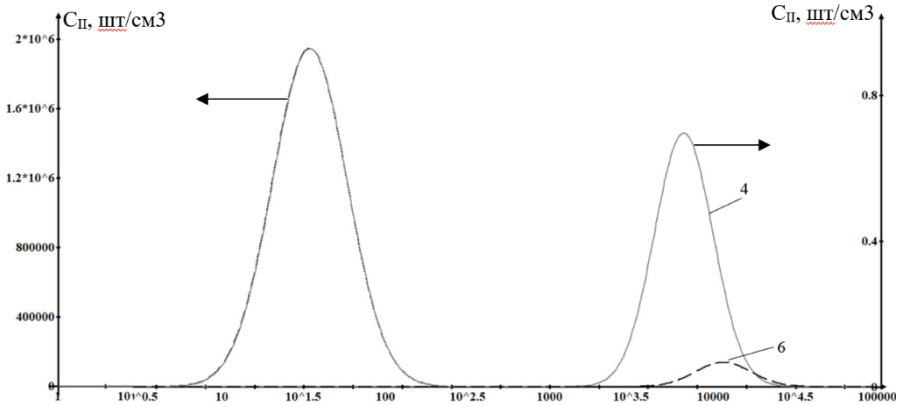


Рисунок 3 – Бимодальные функции распределения агломератов по их размерам для образцов типа II, № 4 и 6

Figure 3 – Bimodal distribution functions of agglomerates by their sizes for samples of type II, no. 4 and 6

Из таблицы 2 также видно, что образцы с механическим перемешиванием и с предварительной обработкой в ультразвуковой ванне (УЗВ) имеют существенные отличия по концентрации агломератов. Это в свою очередь влияет на амплитуду моды исходных наноразмерных частиц, поскольку суммарное количество частиц Al_2O_3 во всех образцах остается одинаковой. Следует отметить, что амплитуда моды агломератов C_{IImax} в образцах с механическим перемешиванием больше, чем амплитуда моды агломератов в соответствующих образцах с УЗ перемешиванием. При этом мода агломератов имеет один порядок. Исходя из этого можно утверждать, что тип предварительной обработки влияет только на амплитуду мод бимодальной функции распределения – изменяется только концентрация частиц и их агломератов, а их размеры остаются практически неизменными.

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показали, что наименьшие размеры и концентрацию агломератов можно достигнуть при использовании УЗ обработки в сочетании с капсулированием частиц, что показывает эффективность этих технологических приемов для улучшения свойств композитов.

Выбор товарной формы полимерного материала также существенно влияет на процесс агломерации. Обнаружено, что бисерная форма влияет на образование более крупных агломератов, но при этом их концентрация оказывается меньше, чем при использовании гранул.

Таким образом, комплексное применение ультразвукового воздействия и капсулирования частиц, в сочетании с выбором товарной формы выпуска полимерного материала, позволяет получить наименьшую концентрацию и размер агломератов.

Важно отметить, что на процесс агломерации полимерная матрица оказывает существенное влияние, приводящее к двухкратному увеличению размеров агломератов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oleiwi J.K., Hamad Q.A. Studying the mechanical properties of denture base materials fabricated from polymer composite materials // Al-Khwarizmi Engineering Journal. 2018. Т. 14, № 3. С. 100–111. https://doi.org/10.22153/kej.2018.01.006.

2. Experimental analysis of mechanical and thermal characteristics of luffa/epoxy polymer composite under the influence of nanosilica / Saminathan R. [и др.]. // Advances in Materials Science and Engineering. 2022. Т. 2022. С. e6040629. http://dx.doi.org/10.1155/2022/6040629.

3. Novel epoxy-based biocidal composite material filled with polylactide-capsulated copper (I) oxide particles / Danilaev M. [и др.]. // Karbala International Journal of Modern Science. 2023. Т. 9, № 3. С. 417–428. https://doi.org/10.33640/2405-609X.3309.

4. Magnetic polymer composite particles: design and magnetorheology / Lu Q. [и др.]. // Polymers. 2021. Т. 13, № 4. С. 512. https://doi.org/10.3390/polym13040512.

5. Selection, processing, properties and applications of ultra-high temperature ceramic matrix composites, UHTCMCs – a review / Binner J. [и др.]. // International Materials Reviews. 2020. Т. 65, № 7. С. 389–444. https://doi.org/10.1080/09506608.2019.1652006

6. Impact of the nanocarbon on magnetic and electrodynamic properties of the ferrite/polymer

composites / Trukhanov A.V. [и др.]. // Nanomaterials. 2022. Т. 12, № 5. С. 868. https://doi.org/10.3390/nano12050868.

7. Intrinsic self-healing epoxies in polymer matrix composites (PMCs) for aerospace applications / Paolillo S. [и др.]. // Polymers. 2021. Т. 13, № 2. С. 201. https://doi.org/10.3390/polym13020201.

8. Tański T., Matysiak W., Hajduk B. Manufacturing and investigation of physical properties of polyacrylonitrile nanofibre composites with SiO2, TiO2 and Bi2O3 nanoparticles // Beilstein J. Nanotechnol. 2016. Т. 7, № 1. С. 1141–1155. https://doi.org/10.3762/bjnano.7.106.

9. Ruoff R.S., Lorents D.C. Mechanical and thermal properties of carbon nanotubes // Carbon. 1995. Т. 33, № 7. С. 925–930. https://doi.org/10.1016/0008-6223(95)00021-5.

10.Mechanical, thermal and rheological properties of polyethylene-based composites filled with micrometric aluminum powder / Mysiukiewicz O. [и др.]. // Materials. 2020. Т. 13, № 5. С. 1242. https://doi.org/10.3390/ma13051242.

11.Ultrabroad microwave absorption ability and infrared stealth property of nano-micro CuS@rGO lightweight aerogels / Wu Y. [и др.]. // Nano-Micro Lett. 2022. Т. 14, № 1. С. 171. https://doi.org/10.1007/s40820-022-00906-5.

12.A lightweight, elastic, and thermally insulating stealth foam with high infrared-radar compatibility / Gu W. [и др.]. // Advanced Science. 2022. Т. 9, № 35. С. 2204165. https://doi.org/10.1002/advs.202204165.

13.Carbon fiber assisted glass fabric composite materials for broadband radar cross section reduction / Pang Y. [и др.]. // Composites Science and Technology. 2018. Т. 158. С. 19–25. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.02.001.

14.Carbonaceous materials coated carbon fibre reinforced polymer matrix composites / Salahuddin B. [и др.]. // Polymers. 2021. Т. 13, № 16. С. 2771. https://doi.org/10.3390/polym13162771.

15.Impact of micro silica filler particle size on mechanical properties of polymeric based composite material / Siraj S. [и др.]. // Polymers. 2022. Т. 14, № 22. С. 4830. https://doi.org/10.3390/polym14224830

16.Effects of filler size on the mechanical properties of polymer-filled dental composites: A review of recent developments / Kundie F. [и др.]. // JPS. 2018. Т. 29, № 1. С. 141–165. http://dx.doi.org/10.21315/jps2018.29.1.10.

17.Cazan C., Enesca A., Andronic L. Synergic effect of TiO2 filler on the mechanical properties of polymer nanocomposites // Polymers. 2021. Т. 13, № 12. С. 2017. https://doi.org/10.3390/polym13122017

18.A predictive model towards understanding the effect of reinforcement agglomeration on the stiffness of nanocomposites / Demir E.C. [и др.]. // Journal of Composite Materials. 2022. Т. 56, № 10. С. 1591–1604. https://doi.org/10.1177/00219983221076639.

19.Quantitative assessment of particle dispersion in polymeric composites and its effect on mechanical properties / Rani G.E. [и др.]. // Journal of Materials Research and Technology. 2022. Т. 19. С. 1836–1845. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.147.

20.Ahmed S., Jones F.R. A review of particulate reinforcement theories for polymer composites // J Mater Sci. 1990. Т. 25, № 12. С. 4933–4942. https://doi.org/10.1007/BF00580110.

21.Particle–particle and particle-matrix interactions in calcite filled high-density polyethylene—steady shear / Osman M.A. [и др.]. // Journal of Rheology. 2004. Т. 48, № 5. С. 1167–1184. http://dx.doi.org/10.1122/1.1784782.

22.The effect of agglomeration on the electrical and mechanical properties of polymer matrix nanocomposites reinforced with carbon nanotubes / Tamayo-Vegas S. [и др.]. // Polymers. 2022. Т. 14, № 9. С. 1842. https://doi.org/10.3390/polym14091842.

23.Effect of interphase, curvature and agglomeration of SWCNTs on mechanical properties of polymer-based nanocomposites: Experimental and numerical investigations / Maghsoudlou M.A. [и др.]. // Composites Part B: Engineering. 2019. Т. 175. С. 107119.
https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107119.

24.Agglomeration effect on biomechanical performance of CNT-reinforced dental implant using micromechanics-based approach / Elleuch S. [и др.]. // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2023. Т. 145. С. 106023. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.106023.

25.Structure dependent interface adsorption in polymer nanocomposites / Ciprari D. [и др.]. // 15th European Conference on Composite Materials: Composites at Venice, ECCM 2012.

26.Influence of the thickness of a polymer shell applied to surfaces of submicron filler particles on the properties of polymer compositions / Akhmadeev A.A. [и др.]. // Mech Compos Mater. 2020. Т. 56, № 2. С. 241–248. https://doi.org/10.1007/s11029-020-09876-4

27.Гаврилова Н.Н., Назаров В.В., Яровая О.В. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. 52 с.

28.Зависимость диэлектрической проницаемости и удельного объемного сопротивления полимерных композитов от концентрации наноразмерных частиц наполнителей алюминия и сажи / Ахриев А.С. [и др.]. // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2017. Т. 44, №2. С.18–27. https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-2-18-27.

29.Formation mechanism of residual stresses in micro-injection molding of PMMA: A molecular dynamics simulation / Weng C. [и др.]. // Polymers. 2020. Т. 12, № 6. С. 1368. https://doi.org/10.3390/polym12061368.

Информация об авторах

Е. А. Бобина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронных и квантовых средств передачи информации» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

М. П. Данилаев – доктор технических наук, профессор кафедры «Электронных и

квантовых средств передачи информации» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

В. А. Куклин – кандидат физико-математических наук, инженер-исследователь междисциплинарной межвузовской лаборатории Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

С. А. Карандашов – инженер-исследователь междисциплинарной межвузовской лаборатории Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

К. В. Файзуллин – кандидат технических наук, заместитель начальника управления научно-исследовательской работы (УНИР) Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ

REFERENCES

1. Oleiwi, J.K. & Hamad, Q.A. (2018). Studying the mechanical properties of denture base materials fabricated from polymer composite materials. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 14(3), 100–111. doi: 10.22153/kej.2018.01.006.

2. Saminathan, R., Hadidi, H., Fageehi, Y.A., Kumar, P.M., Venkatasudhahar, M., Ankit, Ram, S. & Gebreyohannes, D.T. (2022). Experimental analysis of mechanical and thermal characteristics of luffa/epoxy polymer composite under the influence of nanosilica. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, e6040629. doi: 10.1155/2022/6040629.

3. Danilaev, M., Hussein, S.M.R.H., Bobina, E., Karandashov, S., Kuklin, V., Klabukov, M., Le, H.Q., Mironskaya, E., Yakovleva, G. & Ilinskaya, O. (2023). Novel epoxy-based biocidal composite material filled with polylactide-capsulated copper (I) oxide particles. *Karbala International Journal of Modern Science*, 9(3), 417–428. doi: 10.33640/2405-609X.3309.

4. Lu Q., Choi K., Nam J.-D., Choi H.J. (2021). Magnetic polymer composite particles: design and magnetorheology. *Polymers*, 13(4), 512. doi: 10.3390/polym13040512.

5. Binner, J., Porter, M., Baker, B., Zou, Ji., Venkatachalam, V., Diaz, V.R., D'Angio, A., Ramanujam, P., Zhang, T. & Murthy, T. S.R.C. (2020). Selection, processing, properties and applications of ultra-high temperature ceramic matrix composites, UHTCMCs – a review. *International Materials Reviews*, 65(7), 389–444, doi: 10.1080/09506608.2019.1652006.

6. Trukhanov, A.V., Tishkevich, D.I., Podgornaya, S.V., Kaniukov, E., Darwish, M.A., Zubar, T.I., Timofeev, A.V., Trukhanova, E.L., Kostishin, V.G. & Trukhanov, S.V. (2022). Impact of the nanocarbon on magnetic and electrodynamic properties of the ferrite/polymer composites. *Nanomaterials*, 12(5), 868. doi: 10.3390/nano12050868.

7. Paolillo, S., Bose, R.K., Santana, M.H. & Grande, A.M. (2021). Intrinsic self-healing epoxies in polymer matrix composites (PMCs) for aerospace applications. *Polymers*, 13(2), 201. doi: 10.3390/polym13020201.

8. Tański, T., Matysiak, W. & Hajduk B. (2016) Manufacturing and investigation of physical properties of polyacrylonitrile nanofibre composites with SiO2, TiO2 and Bi2O3 nanoparticles. *Beilstein J. Nanotechnol*., 7(1), 1141–1155. doi: 10.3762/bjnano.7.106.

9. Ruoff, R.S. & Lorents, D.C. (1995). Mechanical and thermal properties of carbon nanotubes. *Carbon*, 33(7), 925–930. doi: 10.1016/0008-6223(95)00021-5.

10.Mysiukiewicz, O., Kosmela, P., Barczewski, M. & Hejna, A. (2020). Mechanical, thermal and rheological properties of polyethylene-based composites filled with micrometric aluminum powder. *Materials*, 13(5), 1242. doi: 10.3390/ma13051242.

11.Wu, Y., Zhao, Y., Zhou, M., Tan, Sh., Peymanfar, R., Aslibeiki, B. & Ji, G. (2022). Ultrabroad microwave absorption ability and infrared stealth property of nano-micro CuS@rGO lightweight aerogels. *Nano-Micro Lett*, 14(1), 171. doi: 10.1007/s40820-022-00906-5.

12.Gu, W., Ong, S.J.H., Shen, Y., Guo, W., Fang, Y., Ji, G. & Xu, Z.J. (2022). A lightweight, elastic, and thermally insulating stealth foam with high infrared-radar compatibility. *Advanced Science*, 9(35), 2204165. doi: 10.1002/advs.202204165.

13.Pang, Y., Li, Y., Wang, J., Yan, M., Chen, H., Sun, L., Xu, Zh. & Qu, Sh. (2018). Carbon fiber assisted glass fabric composite materials for broadband radar cross section reduction. *Composites Science and Technology*, 158, 19–25. doi: 10.1016/j.compscitech.2018.02.001.

14.Salahuddin, B., Faisal, S.N., Baigh, T.A., Alghamdi, M.N., Islam, M.S., Song, B., Zhang, X., Gao, S. & Aziz, S. (2021). Carbonaceous materials coated carbon fibre reinforced polymer matrix composites. *Polymers*, 13(16), 2771. doi: 10.3390/polym13162771.

15.Siraj, S., Al-Marzouqi, A.H., Iqbal, M.Z. & Ahmed, W. (2022). Impact of micro silica filler particle size on mechanical properties of polymeric based composite material. *Polymers*, 14(22), 4830. doi: 10.3390/polym14224830.

16.Kundie, F., Azhari, Ch.H., Muchtar, A. & Ahmad, Z.A. (2018). Effects of filler size on the mechanical properties of polymer-filled dental composites: A review of recent developments. *JPS*, 29(1), 141–165. doi: 10.21315/jps2018.29.1.10.

17.Cazan, C., Enesca, A. & Andronic, L. (2021). Synergic effect of TiO2 filler on the mechanical properties of polymer nanocomposites. Polymers, 13(12), 2017. doi: 10.3390/polym13122017.

18.Demir, E.C., Benkaddour, A., Aldrich, D.R., McDermott, M.T., Kim, C.I. & Ayranci, C. (2022). A predictive model towards understanding the effect of reinforcement agglomeration on the stiffness of nanocomposites. *Journal of Composite Materials*, 56(10), 1591–1604. doi: 10.1177/00219983221076639.

19.Rani, G.E., Murugeswari, R., Siengchin, S.,

Rajini, N. & Kumar, M.A. (2022). Quantitative assessment of particle dispersion in polymeric composites and its effect on mechanical properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 1836–1845. doi: 10.1016/j.jmrt.2022.05.147.

20.Ahmed, S. & Jones, F.R. (1990). A review of particulate reinforcement theories for polymer composites. *J Mater Sci.*, 25(12), 4933–4942. doi: 10.1007/BF00580110.

21.Osman, M.A., Atallah, A., Schweizer, T. & Öttinger, H.Ch. (2004). Particle–particle and particle-matrix interactions in calcite filled high-density polyethylene—steady shear. *Journal of Rheology*, 48(5), 1167–1184. doi: 10.1122/1.1784782.

22.Tamayo-Vegas, S., Muhsan, A., Liu, C., Tarfaoui, M. & Lafdi, K. (2022). The effect of agglomeration on the electrical and mechanical properties of polymer matrix nanocomposites reinforced with carbon nanotubes. *Polymers*, 14(9), 1842. doi: 10.3390/polym14091842.

23.Maghsoudlou, M.A., Isfahani, R.B., Saber-Samandari, S. & Sadighi, M. (2019). Effect of interphase, curvature and agglomeration of SWCNTs on mechanical properties of polymer-based nanocomposites: Experimental and numerical investigations. *Composites Part B: Engineering*, 175, 107119. doi: 10.1016/j.compositesb.2019.107119.

24.Elleuch, S., Jrad, H., Wali, M. & Dammak, F. (2023). Agglomeration effect on biomechanical performance of CNT-reinforced dental implant using micromechanics-based approach. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 145, 106023. doi: 10.1016/j.jmbbm.2023.106023.

25.Ciprari, D., Nunnery, L., Jasiuk, I., Tannenbaum, R., & Jacob, K. I. (2012). Structure dependent interface adsorption in polymer nanocomposites. In *ECCM 2012 - Composites at Venice, Proceedings of the 15th European Conference on Composite Materials* (ECCM 2012 - Composites at Venice, Proceedings of the 15th European Conference on Composite Materials). European Conference on Composite Materials, ECCM.

26.Akhmadeev, A.A., Bogoslov, E.A., Danilaev, M.P., Klabukov, M.A. & Kuklin, V. A. (2020). Influence of the thickness of a polymer shell applied to surfaces of submicron filler particles on the properties of polymer compositions. *Mech Compos Mater.*, 56(2), 241–248. doi: 10.1007/s11029-020-09876-4.

27.Gavrilova, N.N., Nazarov, V.V. & Yarovaya, O.V. (2012). *Microscopic methods of determination of particle sizes of dispersed materials: textbook*. Moscow: D. I. Mendeleev Russian Chemical Technology University. (In Russ.).

28.Akhriev, A.S., Gaytukieva, Z.Kh., Kunizhev, B.I. & Tkhakakhov, R.B. (2017). The dependence of dielectric permeability and specific volume resistance of polymer composites on the concentration of nano-dimensional aluminium particles and carbon black fillers. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*, 44(2), 18–27. (In Russ.). doi: 10.21822/2073-6185-2017-44-2-18-27.

29.Weng, C., Ding, T., Zhou, M., Liu, J. & Wang, H. (2020). Formation mechanism of residual stresses in micro-injection molding of PMMA: A molecular dynamics simulation. *Polymers*, 12(6), 1368. doi:10.3390/polym12061368.2. Skurihin, I.M. & Tutel'yan, V.A. (2002). *Chemical composition of Russian food products: Handbook.* Moscow: DeLiprint. (In Russ.). doi: 10.258.1232.

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

Information about the authors

E. A. Bobina – PhD, Associate Professor of the Department of "Electronic and Quantum Means of Information Transmission" of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

M. P. Danilaev – Doctor of Sciences, Professor of the Department of "Electronic and Quantum Means of Information Transmission" of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

V. A. Kuklin – PhD, research engineer, interdisciplinary interuniversity laboratory, Kazan Na-tional Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

S. A. Karandashov – research engineer, interdisciplinary interuniversity laboratory, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

K. V. Fayzullin – PhD, Deputy Head of the Research and Development Department (RDD) of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 169–175.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 169–175.

Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 543.054, 543.2, 543.3, 543.61, 543.64, 542.943-92
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.025
EDN: MIIVOJ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕЛЕНА В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Александра Александровна Иванова [1], Ксения Николаевна Мусатова [2], Сергей Васильевич Темерев [3], Игорь Викторович Индюшкин [4]

[1, 2, 3] Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
[1] sanimav22@gmail.com
[2] musatova.ks.88@mail.ru
[3] temerev@mail.ru
[4] Федеральное государственное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае»

Аннотация. *В работе экспериментально продемонстрированы преимущества низкотемпературных методов: инверсионной вольтамперометрии и молекулярной флуориметрии на представительных образцах природных объектов: речных взвесей, поровой воды, поверхностных водах и бутилированных водах при определении легколетучих ртутеподобных элементов. Разработана методика определения селена, в сочетании с химической подготовкой аналитического образца к инструментальному анализу. Наиболее значимы низкотемпературные инструментальные методы с жидкофазным и твердофазным концентрированием легколетучего элемента. К низкотемпературным методам химического анализа относятся методы, основанные на измерении свойств веществ при низких температурах. Отличительными особенностями низкотемпературных методов химического анализа в сравнении с высокотемпературными методами являются высокая чувствительность, поскольку они основаны на измерении очень малых изменений свойств системы при добавлении аналита – это позволяет определять даже малые количества вещества в образце; точность – низкотемпературные методы анализа обычно имеют высокую точность, поскольку они основаны на измерениях физических свойств, которые могут быть измерены с высокой точностью; селективность – низкотемпературные методы обладают высокой селективностью; простота использования – многие низкотемпературные методы просты в использовании и не требуют сложного и дорогостоящего оборудования.*

Ключевые слова: *селен, атомно-абсорбционная спектроскопия, флуориметрический метод, инверсионная вольтамперометрия, легколетучие ртутеподобные элементы, пробоподготовка, гидридный метод, борогидрид натрия.*

Благодарности: *автор выражает признательность коллегам за помощь и поддержку исследования.*

Для цитирования: Иванова А. А., Мусатова К. Н., Темерев С. В., Индюшкин И. В. Определение содержания селена в природных объектах инструментальными методами / А. А. Иванова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 169 – 175. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.025, EDN: https://elibrary.ru/MIIVOJ.

Original article

DETERMINATION OF SELENIUM CONTENT IN NATURAL OBJECTS BY INSTRUMENTAL METHODS

Alexandra A. Ivanova [1], Ksenija N. Musatova [2], Sergey V. Temerev [3], Igor V. Indjushkin [4]

[1, 2, 3] Altai State University, Barnaul, Russia
[1] sanimav22@gmail.com
[2] musatova.ks.88@mail.ru
[3] temerev@mail.ru
[4] Federal State Healthcare Institution "Center of Hygiene and Epidemiology in the Altai Territory"

© Иванова А. А., Мусатова К. Н., Темерев С. В., Индюшкин И. В., 2024

Abstract. *The research experimentally demonstrates the advantages of low-temperature methods: inversion voltammetry and molecular fluorimetry on representative samples of natural objects: river suspensions, pore waters, surface waters and bottled waters in the determination of volatile mercury-like elements. A method for the determination of selenium has been developed, in combination with the chemical preparation of an analytical sample for instrumental analysis. The most significant are low-temperature instrumental methods with liquid-phase and solid-phase concentration of a volatile element. Low-temperature methods of chemical analysis include methods based on measuring the properties of substances at low temperatures. The distinctive features of low–temperature chemical analysis methods in comparison with high-temperature methods are high sensitivity, since they are based on measuring very small changes in the properties of the system when adding an analyte – this allows you to determine even small amounts of matter in the sample; accuracy - low-temperature analysis methods usually have high accuracy, since they are based on measurements of physical properties that can be measured with high accuracy; selectivity - low–temperature methods have high selectivity; ease of use - many low–temperature methods are easy to use and do not require complex and expensive equipment.*

Keywords: *selenium, atomic absorption spectroscopy, fluorimetric method, inversion voltammetry, volatile mercury-like elements, sample preparation, hydride method, sodium borohydride.*

Acknowledgements: *the author expresses gratitude to her collages for their help and support of the research.*

For citation: Ivanova A.A., Musatova K.N., Temerev S.V. & Indjushkin I.V. (2023). Determination of selenium in natural objects by instrumental methods. Polzunovskiy vestnik. (3), 169-175. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.025. EDN: https://elibrary.ru/MIIVOJ_.

ВВЕДЕНИЕ

Селен – один из важнейших микроэлементов, необходимым организму человека [1]. В основном функции селенсодержащих белков сводятся к предотвращению развития окислительного стресса и уменьшению воспалительного процесса, провоцирующего развитие сердечно-сосудистых патологий [2].

Большинство соединений селена относятся к высокотоксичным веществам, наблюдения за которыми обязательны во всех средах человеческой деятельности.

При исследовании компонентов экосистем микроэлементы необходимо концентрировать, т.к. кларки легколетучих элементов близки к следовому содержанию. Как правило подготовка образцов к анализу инструментальными методами предполагает предварительное экстракционное, либо твердофазное концентрирование.

Определение низких или следовых содержаний требует тщательной подготовки аналитического образца, строгого соблюдения методик разделения и концентрирования мешающего влияния матричных компонентов при регистрации аналитических сигналов легколетучих ртутеподобных элементов (As, Sb, Sn, Bi, Se и др.) В случае химического анализа сложных природных объектов, следует соблюдать: особую тщательность в подготовке образцов; высокие требования к выбору метода химического анализа летучих, гидридобразующих элементов (As, Sb, Sn, Bi, Se и др.), метрологию повышения достоверности итоговых результатов.

Для проведения представительного фонового мониторинга водных экосистем, идентификации природных и антропогенных источников поступления в них селена необходимо определять малые концентрации в интервале от 0,1 до 3 ПДКв.р. (ПДКв.р.=1 мкг/л для Se).

В связи с этим, особенно актуально выполнять массовый химико-аналитический контроль природных объектов, бутилированных вод, биологически активных добавок на наличие селена [3, 4].

Ранее проводилось исследование водных экосистем, методом инверсионной катодной вольтамперометрии с использованием графитового электрода с введением микродобавки золота, как коллектора, для извлечения селена и мышьяка [5].

В данной работе, в задачи входило создание методики определения содержания селена в природных объектах методом инверсионной катодной вольтамепрометрии с использованием золотого электрода. В процессе пробоподготовки использовалось восстановление борогидридом натрия всех форм элемента с дальнейшим определением его количества и сопоставлением результатов с другими независимыми методами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнили на базе лабораторий кафедры техносферной безопасности и аналитической химии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», а также под чутким руководством Индюшкина И. В. на базе лабораторий ФГУЗ ЦГиЭ в Алтайском крае.

Электрохимический анализ содержания селена выполнялся с помощью вольтамперометрического анализатора «Экотест-ВА» (Москва, Эконикс) с мешалкой, содержащим одну электрохимическую ячейку, в комплекте с установленным пакетом программ «EcotestVA (beta)». Была разработана методика определения селена методом катодной инверсионной вольтам-

перометрии (табл. 1) с золотым электродом (содержание золота 99,9%) в бутилированной воде с добавки соответствующего микроэлемента.

В работе была использована трехэлектродная электрохимическая ячейка со сменным стеклянным стаканчиком. В роли вспомогательного электрода использовали платиновый электрод, а в качестве рабочего – золотой проволочный. Электродом сравнения служил хлорид серебряный электрод [6].

Таблица 1 - Параметры программы определения селена методом катодной ИВА

Table 1 - Parameters of the selenium determination program by the cathode IVA method

Параметр	Значение
Потенциал накопления	-600 мВ
Время накопления	35 с.
Скорость развертки	80 мВ/с

Время накопления определялось экспериментально посредством выявления графической зависимости концентрации элемента от времени накопления. На основе данных полученной вольтамперограммы (рис. 1) делали вывод об оптимальном времени накопления, которое составило 35 с.

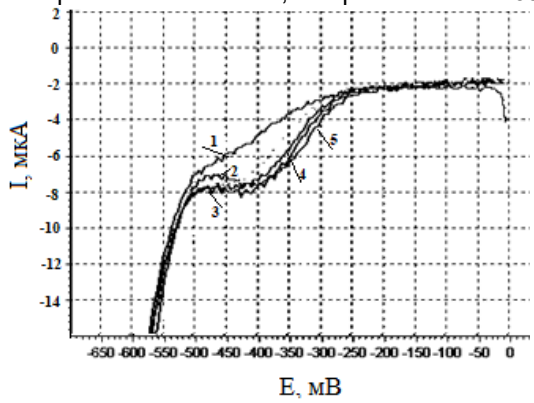


Рисунок 1 – Зависимость концентрации селена от времени накопления: 1 – $t_{нак}$ = 10 с., 2 – $t_{нак}$ = 20 с., 3 – $t_{нак}$ = 30 с., 4 – $t_{нак}$ = 40 с., 5 – $t_{нак}$ = 50 с

Figure 1 – Dependence of selenium concentration on accumulation time: 1-t_{acc} = 10 s., 2 – t_{acc} = 20 s., 3 – t_{acc} = 30 s., 4 – t_{acc} = 40 s., 5 – t_{acc} = 50 s

Адсорбционное накопление селена осуществлялось в форме селенида, который катодно восстанавливается при потенциале -600 мВ относительно хлоридсеребряного электрода (E^0=0,222 В) в течение 35 секунд.

После накопления регистрировали вольтамперограмму катодного электровосстановления образовавшегося в результате реакций концентрата (рис. 2), поляризуя рабочий электрод от 0,0 до -0,6 В:

$$4SeO_3^{2-} + 3BH_4^- + 8H^+ \rightarrow 4H_2Se\uparrow + 3BO_2 + 6H_2O$$

$$H_2Se \rightarrow Se^0 + H_2\uparrow$$

На основе данных вольтамперограммы и встроенных расчетов в программе можно построить градуировочную зависимость площади пика (рис. 3) и предельного тока восстановления (рис. 4) от концентрации микроэлемента.

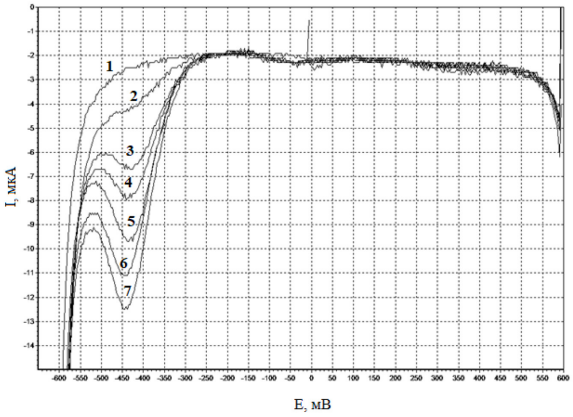


Рисунок 2 – Катодная вольтамперограмма рабочего раствора селена (IV): 1 – фон 0,1М HCl, 2 – концентрация 1 мкг/л, 3 – концентрация 3 мкг/л, 4 – концентрация 5 мкг/л, 5 – концентрация 7 мкг/л, 6 – концентрация 9 мкг/л, 7 – концентрация 10 мкг/л

Figure 2 – Cathode voltamperogram of the work of selenium (IV):1 - background 0.1 m HCl, 2 - concentration 1 mg/l, 3 - concentration 3 mg/l, 4 - concentration 5 mg/l, 5 - concentration 7 mg/l, 6 - concentration 9 mg/l, 7 - concentration 10 mg/l

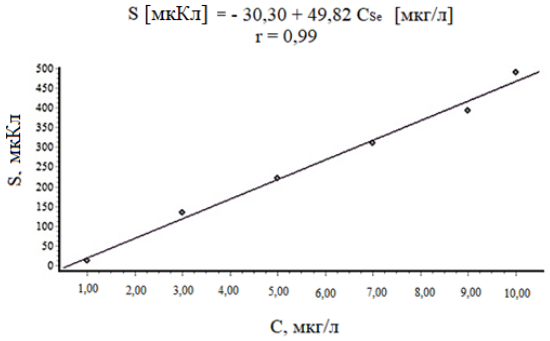


Рисунок 3 – Градуировочная зависимость площади пика от концентрации селена (IV) мкг/л

Figure 3 – Calibration dependence of the peak area on the concentration of selenium (IV) mcg/l

Для определения содержания селена (IV) в бутилированной воде в первую пробирку помещали 10 мл пробы воды, подкисляли 4,7 мл 0,1М соляной кислотой и добавляли 0,3 мл щелочного раствора борогидрида натрия (3%-ый раствор $NaBH_4$ в 1%-м растворе NaOH); во вторую – 10 мл исследуемой воды, 1,5 мл раствора селена концентрации 50 мкг/мл (с итоговой концентрацией добавки 5 мкг/мл) , 3,2 мл 0,1М соляной кислоты и 0,3 мл восстановителя.

После добавления восстановителя смесь выдерживали в течение 15 минут в закрытом сосуде, а затем регистрировали вольтамперограммы, сначала для «холостой» пробы, затем анализируемого образца методом добавок селена (IV) [7], приготовленным из ГСО.

Атомно-абсорбционное определение содержания селена в пробах с электротермической атомизацией элемента выполняли на двухлучевом атомно-абсорбционном спектрофотометре SHIMADZU AA-7000 (Япония) для пламенного и электротермического атомно-абсорбционного анализа.

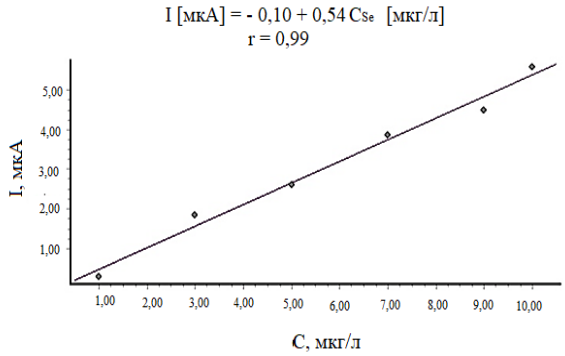


Рисунок 4 – Градуировочная зависимость предельного тока восстановления от концентрации селена (IV) мкг/л

Figure 4 – Calibration dependence of the limiting recovery current on the concentration of selenium (IV) mcg/l

При оптическом анализе растворов следует количественно перенести, используя автоматический микродозатор, в кювету, в последующем подвергаемую импульсному нагреву в атмосфере инертного аргона. Для обеспечения правильности определения в графитовый атомизатор одновременно с анализируемой пробой вносятся химические модификаторы, которые позволяют устранить или резко снизить матричное влияние. В данном случае в качестве модификатора используется добавка палладия. Далее измеряется величина атомного поглощения [8] в следствие образовавшихся атомов селена.

Для использования графитовой кюветы в роли атомизатора требуется вносить корректировки [9] неселективного поглощения, достигающихся дейтериевым корректором фона. Неселективное поглощение образуется в результате светорассеяния дымом и устремляющимися из материала частицами, что достигается за счет применения дейтериевого корректора фона.

Определение селена атомно-абсорбционным методом может быть затруднена из-за спектрального диапазона элемента. Спектральная полоса поглощения селена находится близко к крайним значениям дифракционной решетки прибора.

Сущность метода заключается в атомно-абсорбционном определении селена, полученного термическим разложением.

Определение проводили при длине волны 196,07 нм (рис. 5) с шириной спектральной щели 1,0 нм.

Для проведения анализа в графитовую кювету с помощью автодозатора последовательно вводили 10 мкл анализируемого раствора и 10 ppm добавки палладия. Затем растворы высушивали, озоляли и атомизировали в соответствии с условиями, заложенными в программе, а именно – источник излучения – безэлектродная лампа с полым катодом; ширина спектральной щели 1,0 нм; длина волны 196,07 нм; температура 2200°С. В ходе работы производили по 2 параллельных определения растворов: холостой и проба. Во время анализа регистрировали массовую концентрацию элемента в анализируемом растворе и атомное поглощение для каждого из двух параллельных определений и их среднеарифметическое значение.

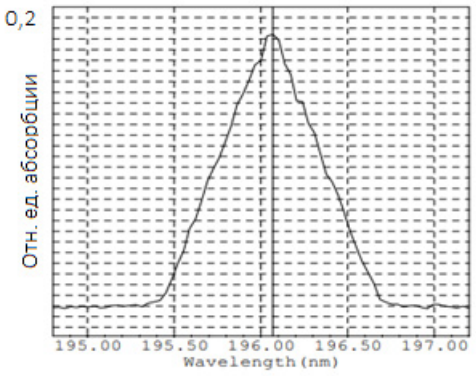


Рисунок 5 – Спектр поглощения атомарного селена

Figure 5 – Absorption spectrum of atomic selenium

По полученным данным строят градуировочный график (рис. 6) в координатах высота пика абсорбционного поглощения (мм) - концентрация селена (мкг/л).

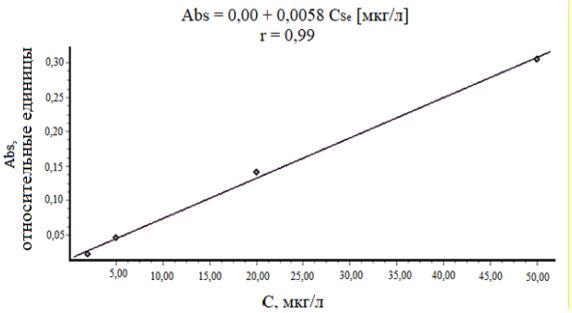


Рисунок 6 – Градуировочная зависимость величины поглощения от концентрации селена (IV)

Figure 6 – Calibration dependence of the absorption value on the concentration of selenium (IV)

Безопасный экстракционно-флуориметрический способ определения селена [10] в воде, основан на взаимодействии селенит-иона с реактивом 2,3-диаминонафталином в кислой среде с образованием соединения 4,5-бензодиазоселенола, экстрагируемого гексаном. Это соединение при ультрафиолетовом облучении обладает желто-красной флуоресценцией, интенсивность которой измеряется флуориметром. Флуоресценцию измеряют не позже, чем через 1-2 ч.

Для анализа серия стандартных растворов

селена готовится из ГСО путём многократного разбавления. Для построения градуировочного графика в градуированную пробирку с притёртой крышкой на 25,0 мл помещают 1,00; 2,00; 3,00; 4,00; 5,00 мл стандартного раствора Se, содержащего 0,0001 мкг селена в 1,00 мл (0,2; 0,3; 0,4; 0,5 мкг селена), доливают до 25,0 мл 0,1 моль/л соляной кислотой.

К анализируемому раствору объемом 20,0 мл добавляют 0,40 мл раствора 3%-ного щелочного борогидрида натрия восстановителя, закрывают пробкой, встряхивают и оставляют на 5 мин для восстановления всех форм селена до селеноводорода, затем прибавляют 2,00 мл 2,3-диаминонафталина с массовой долей 0,1% и затем образовавшийся 4,5-бензодиазо-селенола, экстрагируют гексаном. Добавляют порциями по 2 мл гексана и встряхивают по 1 мин, переносят в делительную воронку для расслаивания и разделения фаз, переносят на фильтр и фильтруют в пробирку с предыдущей порцией, поочередно 4-5 раз экстракций для количественного извлечения.

Затем объединенный экстракт флуориметрируют с помощью «Флюорат-02-3М» с соответствующими светофильтрами: 11 (385-460 нм, канал возбуждения), 5 (510-580 нм, канал регистрации).

Строят график, откладывая по оси абсцисс содержание Se в растворах, по оси ординат - величину флуоресценции этих растворов.

Для каждой партии проб ведут «холостой» опыт по всему ходу анализа; полученную величину вычитают из результата определения при расчете содержания элемента.

В таблице 2 представлены результаты измерения средних величин интенсивности флуоресценции экстрактов, приготовленных из стандартного раствора Se.

По графику зависимости величины поглощения от концентрации селена рассчитывали концентрацию микроэлемента в анализируемых образцах природных объектов.

Таблица 2 - Результаты измерения интенсивности I флуоресценции концентратов гидрида селена с 2,3-диаминанафталина в гексане

Table 2 - Results of measuring the intensity of I fluorescence of selenium hydride concentrates with 2,3-diaminonaphthalene in hexane

Концентрация селена, мкг\мл	Интенсивность I, отн. ед.
0,0018	0,2705
0,0036	0,3181
0,0054	0,3851
0,0072	0,5169
0,0090	0,6325

Градуировочный график представлен на рисунке 7.

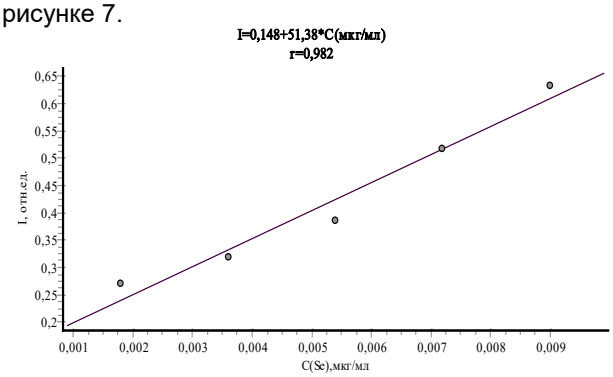


Рисунок 7 – Градуировочная зависимость интенсивности флуоресценции от концентрации селена

Figure 7 – Calibration dependence of fluorescence intensity on selenium concentration

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

После получения вольтамперограмм встроенными средствами, предусмотренными прикладным программным обеспечением, производили расчет содержания селена в пробе по экспериментально определенным значениям высоты катодных пиков с указанием объема добавки аттестованной смеси селена и его концентрации, а также объема анализируемой смеси.

Таблица 3 – Результаты количественного определения селена (IV) в природных объектах (взвешенные вещества, бутилированные воды) методами атомно-абсорбционной спектроскопии и инверсионно-вольтамперометрическим

Table 3 – Results of quantitative determination of selenium (IV) in natural objects (suspended solids, bottled water) by atomic absorption spectroscopy and inversion-voltammetric

Объект	№ р-ра	Метод ААС $\langle \overline{Se} \pm \varepsilon_\alpha \rangle$, мкг/л	Метод ИВА $\langle \overline{Se} \pm \varepsilon_\alpha \rangle$, мкг/л
1	2	3	4
Взвешенные вещества речной воды Барнаулки	1	0,2±0,1	0,3±0,1
	2	0,07±0,03	0,10±0,05
	3	0,2±0,1	0,27±0,09
	4	0,5±0,2	0,5±0,1
	5	0,09±0,03	0,11±0,06
	6	0,10±0,05	0,07±0,03
Бутилированные воды	1	4,6±0,4	4,7±0,2
	2	5,4±0,4	5,4±0,2
	3	8,2±0,3	8,0±0,2
	4	11,9±0,3	11,8±0,2
	5	4,3±0,3	4,1±0,2
	6	0,07±0,04	0,06±0,02
	7	10,2±0,3	10,1±0,2

Таблица 4 – Результаты количественного определения селена в природных объектах (поверхностные воды, поровая вода) методами ААС и ИВА

Table 4 – Results of quantitative determination of selenium in natural objects (surface waters, pore water) by AAS and IVA methods

Объект	№ р-ра	Метод ААС $\langle \overline{Se} \pm \varepsilon_\alpha \rangle$, мкг/л	Метод ИВА $\langle \overline{Se} \pm \varepsilon_\alpha \rangle$, мкг/л
Поверхностные воды р. Барнаулки	1	-	<0,004
	2	-	0,07±0,04
	3	-	±<0,04
	4	-	±<0,04
	5	-	0,09±0,04
	6	-	<0,04
Поровая вода р. Барнаулки	1	0,06±0,02	0,07±0,03
	2	0,13±0,06	0,07±0,01
	3	<0,04	<0,01
	4	0,18±0,08	0,12±0,09
	5	0,10±0,03	0,08±0,03
	6	0,10±0,07	0,05±0,02

Таблица 5 – Результаты количественного определения селена методами атомно-абсорбционной спектроскопии, безопасным экстракционно-флуориметрическим и инверсионно-вольтамперометрическим

Table 5 – Results of quantitative determination of selenium by atomic absorption spectroscopy, safe extraction-fluorimetric and inversion-voltammetric

Наименование воды	Метод ААС $\langle \overline{Se} \pm \varepsilon_\alpha \rangle$, мкг/л	Метод Э-Ф $\langle \overline{Se} \pm \varepsilon_\alpha \rangle$, мкг/л	Метод ИВА $\langle \overline{Se} \pm \varepsilon_\alpha \rangle$, мкг/л
Легенда жизни «Бизнес» с селеном	4,6±0,4	4,7±0,3	4,7±0,2
Легенда жизни «Йод, фтор, селен»	5,4±0,4	5,3±0,2	5,4±0,2
Легенда жизни «Цинк, селен»	8,2±0,3	8,1±0,3	8,0±0,2
Stelmas «Цинк, селен»	11,9±0,3	12,0±0,3	11,8±0,2
Платоновская усадьба	4,3±0,3	4,4±0,2	4,1±0,2
Алтайка питьевая вода из Белокурихи	0,07±0,04	0,06±0,02	0,06±0,02
Синеводье «Йод, фтор, селен»	10,2±0,3	10,2±0,1	10,1±0,2

Ранее проводились исследование природных объектов (взвешенные вещества, поверхностные воды, поровая вода) двумя независимыми методами. Результаты определений Se в образцах природных объектов, произведенных ранее, представлены в таблицах 3, 4 [11], а в таблице 5 – определения, произведенные в настоящее время.

Для достоверного химического мониторинга природных объектов были выбраны три независимых инструментальных метода вольтамперометрический атомно-абсорбционный и безопасный экстракционно-флуориметрический.

Разработана методика катодной сорбционной вольтамперометрии с накоплением и катодной разверткой потенциала, и регистрацией аналитического сигнала гидрида селена в области потенциалов -250…-525 мВ отн. ХСЭ с предварительным химическим восстановлением всех форм селена борогидридом.

Накапливание аналита на поверхности проволочного золотого электрода проводят при постоянном значении потенциала -0,600 мВ в течение 35 секунд. Золото обладаем сродством к селену, образует ряд химических, в том числе интерметаллических соединений с селеном. Поэтому требуется короткое время накопления 35 с для сорбции и электроконцентрирования селеноводорода на поверхности и вблизи рабочего электрода. После накопления в течение 35 с регистрируют аналитический сигнал катодного пика при потенциале -600 мВ и в программе автоматически рассчитывали по границам пика содержание селена в пробе.

Для подтверждения правильности методики в аккредитованной лаборатории Центра гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае дополнительно выполнены определения тех же образцов атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизации (ЭТААС).

Сравнительный анализ результатов двух независимых методов (низкотемпературного и высокотемпературного) в сочетании с гидридной пробоподготовкой одних и тех же образцов: речных взве-

сей, поровой воды, поверхностных вод и бутилированных вод с добавками микроэлементов, подтверждает статистически незначимые различия представленных результатов определения селена.

Метод вольтамперометрии, как низкотемпературный многоэлементный, позволяющий определять, как металлы, так и неметаллы не уступает по своим аналитическим возможностям значительно более дорогому методу атомной спектрометрии. Важнейшим практическим итогом нашего исследования следует признать применение на практике отечественного приборного парка: российских вольтамперометрических анализаторов (Томск, Москва), молекулярных флуориметров группа компаний «Люмэкс» (СПб). Недорогие, но эффективные отечественные анализаторы в сочетании с экстракционным и твердофазным концентрированием легколетучих ртутеподобных элементов и восстановлением всех форм элементов до гидридов позволяют улучшить процедуру химического анализа легколетучих ртутеподобных элементов в природных объектах.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика определения селена методом сорбционной катодной вольтамперометрии.

2. Правильность методики подтверждена независимыми методами: атомно-абсорбционным, экстракционно-флуориметрическим.

3. В результате выполненных определений Se в аналитических образцах природных объектов продемонстрировано важное значение химической обработки объекта, а именно экстракционное и твердофазное концентрирование в сочетании низкотемпературным методом химического анализа.

4. Экстракционное концентрирование сочетается не только с атомной, но и молекулярной абсорбции и флуоресценцией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тутельян В.А. Селен в организме человека. Метаболизм. Антиоксидантные свойства. Роль в канцерогенезе / В.А. Тутельян, [и др.] – М.: Изд-во РАМН, 2002. – 201 с.

2. Аникина Л. В. Se: Экология, патология, коррекция: [Монография] / Л. В. Анкина, Л. П. Никитина. – Чита, 2002. – 398 с.

3. Сенькевич О.А., Ковальский Ю.Г., Голубкина Н.А. Мониторинг содержания селена в некоторых пищевых продуктах Хабаровска // Вопросы питания. 2018. Т. 87. №6. С. 89-94.

4. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М.: Наука, 1974. 300 с.

5. Пат. 2302628 Российская федерация, МПК G01N 27/48 (2006.01). Электрохимический способ определения селена и мышьяка в природных оъектах / С. В. Темерев, В. Е. Маслакова; патентообладатель Алтайский государственный университет. - № 2005137499/28; заявл. 01.12.2005; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 19. - 11 с.

6. Основы аналитической химии: в 2 т. Т. 2: учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / Н.В. Алов [и др.]; под ред. Ю.А. Золотова. – 5-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 416 с.

7. Темерев С. В. Вольтамперометрическоое определение микроэлементов после генерации их гидридов // Материалы IV Международной научной конференции «Химия, химическая технология и биотехнология на рубеже тысячелетий»11 – 16 сентября 2006, Т. 2. Томск: изд-во ТПУ, 2006. С.305-306.

8. Основы методов атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии: учеб.-метод. пособие / В. Н. Беляцкий. – Минск: БГМУ, 2015 – 40 с.

9. Б.В. Львов. Атомно-абсорбционный анализ / Б.В. Львов. – М.: Наука, 1966. – 392 с.

10. Пат. 2597769 Российская федерация, МПК G01N 33/00 (2006.01), G01N 33/18 (2006.01). Безопасный экстракционно-флуориметрический способ определения селена в воде / С. В. Темерев, Е. С. Яценко; патентообладатель Алтайский государственный университет. – № 2015113633/15; заявл. 13.04.2015; опубл. 20.09.2016, Бюл. № 26. – 9 с.

11. Темерев С. В. Тяжелые металлы в поверхностных водах бассейна реки Обь : [Монография] / В. М. Савкин, С. В. Темерев. – Изд-во: АлтГУ, 2006. – 336 с.

Информация об авторах

А. А. Иванова – магистрант кафедры «Техносферной безопасности и аналитической химии» Алтайского государственного университета.

К. Н. Мусатова – заведующий лабораторией кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, аспирант.

С. В. Темерев – заведующий кафедрой техносферной безопасности и аналитической химии, доктор химических наук, доцент.

И. В. Индюшкин – кандидат химических наук, врач по санитарно-гигеническим лабораторным исследованиям Федерального государственного учреждения здравоохранения "Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае".

Information about the authors

A. A. Ivanova – master's student of the Department of "Techno-Sphere Security and Analytical Chemistry" of Altai State University.

K. N. Musatova – head of the Laboratory of the Department of Techno-Sphere Safety and Analytical Chemistry, postgraduate student.

S. V. Temerev – head of the Department of Techno-Sphere Security and Analytical Chemistry, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor.

I. V. Indyushkin – candidate of Chemical Sciences, Doctor of sanitary and hygienic laboratory studies of the Federal State Health Institution "Center of Hygiene and Epidemiology in the Altai Territory".

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 176–180.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 176–180.

Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 66.081.6
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.026 EDN: JLTTPS

РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ БЕТА-НАФТОЛ

Надежда Вячеславовна Алексеева [1], Егор Дмитриевич Романов [2], Артём Викторович Рухов [3], Константин Игоревич Мартьянов [4]

[1, 2, 3] Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
[1] alekseeva.nv@mail.tstu.ru, https://orcid.org/0000-0002-9335-0477
[2] egor_romanov68@mail.ru, https://orcid.org/0009-0003-1096-3265
[3] artem1@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0001-9194-8099
[4] АО «Пигмент», Тамбов, Россия, mki_clo@krata.ru

Аннотация. *Процессы разделения водных растворов являются одними из наиболее сложных процессов химической технологии. Многокомпонентность образующихся в химической технологии сточных вод не позволяет разработать универсальную технологию разделения. Для химического предприятия чистая вода является важным природным ресурсом, от качества которого зависит качество выпускаемой продукции. Ухудшение экологической ситуации, в частности с добываемой природной водой, стало причиной создания на предприятиях линий водоподготовки, что привело к дополнительным производственным затратам. Организация на химическом предприятии технологической линии разделения сточных вод, образующихся в процессе производства, позволит организовать частично замкнутый цикл по используемой воде, что сократит затраты на закачку и водоподготовку добываемой воды и уменьшит количество сбрасываемых сточных вод. В работе рассмотрен процесс разделения образующихся при производстве пигментов фильтратов – водных растворов, одним из компонентов которого является бета-нафтол. Осуществляемый на производстве процесс обратноосмотического разделения характеризуется явлением «загрязнения» поверхности мембран, что влечет за собой снижение производительности установки. В исследовании изучена природы «загрязнения» поверхности мембран, рассмотрена возможность нанофильтрационного предварительного разделения водных растворов, содержащих бета-нафтол, проведены экспериментальные исследования нанофильтрационного разделения фильтрата производства пигмента алого Ж при различных параметрах разделяемого раствора. Полученные результаты показали эффективность применения нанофильтрационного разделения исследуемых растворов с целью предварительной подготовки перед последующим обратноосмотическим разделением.*

Ключевые слова: *бета-нафтол, нанофильтрация, разделение, обратный осмос, сточные воды, фильтрат, мембрана.*

Благодарности: *автор выражает признательность коллегам из АО «Пигмент» за помощь.*

Для цитирования: Алексеева Н. В., Романов Е. Д., Рухов А. В., Мартьянов К. И. Разделение водных растворов, содержащих бета-нафтол // Ползуновский вестник. 2024. №3. С. 176 – 180. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.026, EDN: https://elibrary.ru/JLTTPS.

Original article

SEPARATION OF AQUEOUS SOLUTIONS CONTAINING BETA-NAPHTHOL

Nadezda V. Alekseeva [1], Egor D. Romanov [2], Artem V. Rukhov [3], Konstantin I. Martyanov [4]

[1, 2, 3] Tambov State Technical University, Tambov, Russia
[1] alekseeva.nv@mail.tstu.ru, https://orcid.org/0000-0002-9335-0477
[2]egor_romanov68@mail.ru, https://orcid.org/0009-0003-1096-3265

© Алексеева Н. В., Романов Е. Д., Рухов А. В., Мартьянов К. И., 2024

[3]artem1@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0001-9194-8099
[4] JSC Pigment, Tambov, Russia, mki_clo@krata.ru

Abstract. *The processes of separation of aqueous solutions are among the most complex processes in chemical technology. The multicomponent nature of aqueous solutions formed in chemical technology does not allow the development of a universal separation technology. For a chemical enterprise, clean water is an important natural resource, the quality of which determines the quality of products. The deterioration of the environmental situation, in particular with the extracted natural water, has led to the creation of water treatment lines at enterprises, which leads to additional production costs. The organization of a technological line for the separation of wastewater generated during the production process at a chemical enterprise will allow organizing a partially closed cycle for the water used, which will reduce the cost of pumping and water treatment of produced water and reduce the amount of wastewater discharged. The paper considers the process of separation of filtrates formed during the production of pigments - aqueous solutions, one of the components of which is beta-naphthol. The process of reverse osmosis separation carried out in production is characterized by the phenomenon of "contamination" of the membrane surface, which entails a decrease in the productivity of the installation. In the study, the nature of the "contamination" of the membrane surface was studied, the possibility of nanofiltration preliminary separation of aqueous solutions containing beta-naphthol was considered, experimental studies were carried out on the nanofiltration separation of the filtrate from the production of scarlet G pigment at various parameters of the separated solution. The results obtained showed the effectiveness of the nanofiltration separation of the studied solutions for the purpose of preliminary preparation before the subsequent reverse osmosis separation.*

Keywords: *beta-naphthol, nanofiltration, separation, reverse osmosis, wastewater, filtrate, membrane.*
Acknowledgements*: the author expresses gratitude to his colleagues from JSC Pigment for their help.*

For citation: Alekseeva, N. V., Romanov, E. D., Rukhov, A. V & Martyanov, K. I. (2024). Separation of aqueous solutions containing beta-naphthol. *Polzunovskiy vestnik.* (3), 176-180. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.026. EDN: https://elibrary.ru/JLTTPS.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие химической промышленности направлено в сторону создания замкнутых технологий и сокращения отходов. Химические предприятия характеризуются большими объемами сточных вод. Вода в производствах химического синтеза используется как в процессе производства, так и на технологические нужды. Разделение образующихся сточных вод позволяет организовать повторное использование воды, снизить водопотребление всего производства и уменьшить количество сточных вод. Наиболее распространенным процессом получения чистой воды является обратноосмотическое разделение водных растворов, которое наиболее эффективно применяется для разделения разбавленных растворов. Основным негативным фактором при осуществлении обратноосмотического разделения является загрязнение поверхности обратноосмотических мембран. Для снижения степени загрязнения поверхности мембран используют различные методы: увеличение скорости и изменение кислотности раствора [1], модификация поверхности мембран [2], периодическая регенерация мембран [3].

МЕТОДЫ

Бета – нафтол является широко используемым промежуточным продуктом для производства красителей и других соединений и содержится в сточных водах производства пигментов, которые представляют собой фильтрат и промывные воды. Наибольшая концентрация бета – нафтола наблюдается в фильтрате на стадии фильтрования суспензии пигмента. Так, при производстве пигмента алого Ж образуется фильтрат, состав которого представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав фильтрата пигмента алого Ж

Table 1 – Composition of the filtrate of the scarlet pigment Ж

Наименование компонента	Содержание, кг/тонна пигмента	Концентрация, кг/м^3
Серная кислота	3,2	0,09
Бета-нафтол	5,9	0,18
Побочные продукты сочетания	10,4	0,31
Соляная кислота	286,9	8,66
Хлорид натрия	465,5	14,05
Вода	32350,5	
Всего	33122,4	

Практика промышленного использования обратноосмотического процесса очистки сточных вод производства пигмента алого Ж на элементах рулонного типа с целью получения чистой воды для повторного использования показала снижение во времени производительности установки. Промывка мембранного модуля повышает производственные показатели, но не до первоначального уровня. В итоге после трех лет работы с регулярной промывкой необходима замена мембранного элемента. Анализируя состав сточных вод, можно сказать, что в про-

цессе загрязнения поверхности мембран могут участвовать любые побочные продукты сочетания или полупродукты синтеза пигмента, включая бета-нафтол. Для определения состава осадка на поверхности мембраны был взят образец со спила отработанного рулонного элемента. Образцы осадка исследовались методами ИК-Фурье спектроскопии с использованием прибора ФТ-801, оснащенного приставкой полного отражения. Сравнение полученных данных с базой данных показало совпадение полос поглощения с бета - нафтолом.

Бета-нафтол (2-нафтол) представляет собой флуоресцентное бесцветное (или иногда желтое) кристаллическое твердое вещество, имеющий слабый запах фенола с формулой $C_{10}H_7OH$. Он плохо растворим в воде, летуч с водяным паром и светочувствителен.

Качественное определение бета-нафтола в растворе проведено с помощью реакции образования соли фиолетового оттенка при взаимодействии бета-нафтола и хлорида железа (III).

Снижение явления загрязнения поверхности обратноосмотических мембран соединениями бета - нафтола возможно несколькими способами:

1. перевод бета - нафтола в водорастворимое состояние;

2. предварительная обработка раствора с целью удаления нерастворимых в воде соединений.

Растворимость бета - нафтола в воде зависит от температуры и кислотности раствора. При повышении температуры и значения pH растворимость бета - нафтола растет. Увеличение рабочей температуры и уровня кислотности обрабатываемого раствора ограничено требованиями к условиям эксплуатации обратноосмотических мембран – максимальной температурой (40°С) и диапазоном кислотности раствора (pH от 3 до 8) [4], что не позволяет полностью достичь поставленной цели и перевести весь бета-нафтол в растворимое состояние.

В качестве предварительной обработки для удаления нерастворимых в воде соединений предлагается нанофильтрационное разделение. Изучение процесса разделения проведено на экспериментальной установке периодического действия, схема которой представлена на рисунке 1. Обрабатываемый раствор циркулирует в установке, непрерывно происходит отбор фильтрата.

Подача обрабатываемого раствора осуществляется из емкости 1 плунжерным насосом 2 через ресивер 3 (в который подается воздух компрессором 4 для компенсации перепадов давления в установке) в двухкамерную ячейку плоскорамного типа 5 и затем возвращается в емкость 1. Скорость движения раствора в мембранных каналах контролируется по ротаметрам 6 и 7 и регулируется с помощью вентилей 8, 9 и 10. Контроль и блокировка установки в случаях превышения давления выше критического осуществляется с помощью электрического щита 13, включающего в себя тумблеры 14, 15, образцовый манометр 17, электронно-контактный манометр 20. Для контроля давления в ресивере предусмотрен манометр 16. Отбор фильтрата осуществляется в емкости 18 и 19. Размер камер мембранной ячейки в собранном виде составляет 210×90×2 мм. Рабочая площадь мембран в каждой камере разделения - 0,019 м^2.

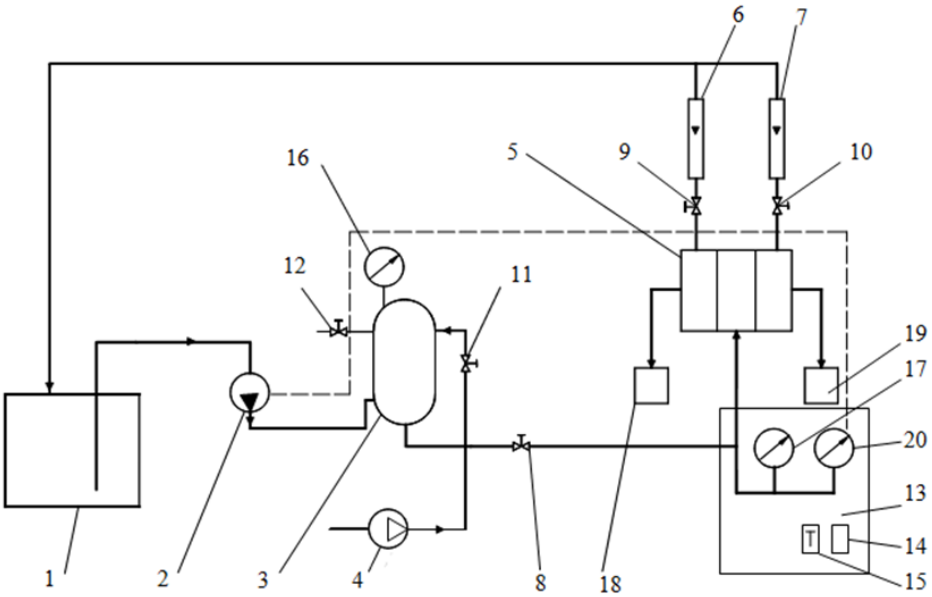


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Figure 1 – Diagram of the experimental installation

Для исследования использована нанофильтрационная мембрана на основе полиамида производства компании Владипор, основные рабочие характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики нанофильтрационной мембраны

Table 2 – Characteristics of the nanofiltration membrane

Материал	Полиамид
Рабочее давление, МПа	1,6
Рабочий диапазон pH	2-12
Максимальная температура,^{0}C	45

РЕЗУЛЬТАТЫ

Разделению подвергался фильтрат, образующийся при производстве пигмента алого Ж с содержанием бета – нафтола 0,18 кг/м^3 при различных температурах и уровне кислотности:

- исходный (T = 25 °C, pH = 2,1) – раствор № 1;
- подогретый (T = 40 °C, pH = 2,1) – раствор № 2;
- нейтрализованный (T = 40 °C, pH = 5) – раствор № 3.

Рабочее давление в мембранном модуле изменялось от 1 до 1,5 МПа. В результате получена зависимость удельной проницаемости нанофильтрационной мембраны от рабочего давления в мембранном канале (рис. 2).

Отсутствие бета – нафтола во всех полученных образцах фильтрата подтверждает эффективность использования нанофильтрационного способа очистки сточных вод от бета-нафтола.

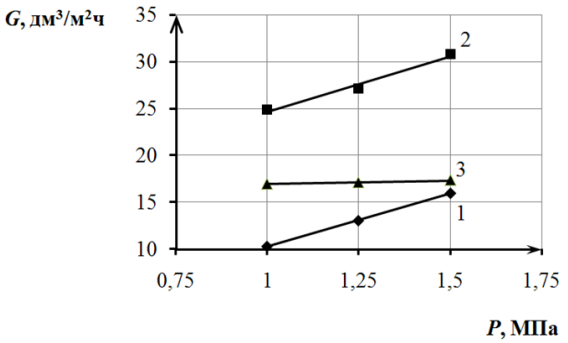


Рисунок 2 – Зависимость удельной проницаемости нанофильтрационных мембран ОПМН-К от рабочего давления в ячейке:
1 – раствор №1, 2 – раствор № 2,
3 – раствор № 3

Figure 2 – Dependence of the specific permeability of OPMN-K nanofiltration membranes on the operating pressure in the cell:
1 – solution No. 1, 2 – solution No. 2,
3 – solution No. 3

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным экспериментальным данным удельная проницаемость нанофильтрационных мембран в процессе разделения водных растворов, содержащих бета – нафтол, повышается при повышении рабочего давления и температуры раствора, что согласуется с литературными данными [5]. Влияние кислотности раствора имеет обратный характер, что объясняется природой растворенного вещества и изменением его растворимости в зависимости от кислотности. При повышении величины pH растворимость бета-нафтола увеличивается, таким образом, в растворе № 3 растворимого в воде бета-нафтола больше, чем в первом и втором растворах. С ростом рабочего давления усиливается проявление концентрационной поляризации, концентрация растворенного бета-нафтола с отдающей стороны мембраны растет, что приводит к ухудшению транспортных характеристик мембраны и снижению роста удельной проницаемости при увеличении давления в аппарате. Таким образом, предварительную нанофильтрационную очистку сточных вод перед обратноосмотическим разделением целесообразно проводить при повышенной температуре в рамках эксплуатационного температурного интервала используемых мембран, без нейтрализации и с последующим охлаждением обрабатываемого раствора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования предложено предварительное нанофильтрационное разделение сточных вод перед обратноосмотической очисткой. Установлена эффективность нанофильтрационного разделения водных растворов, содержащих бета – нафтол. Показано увеличение удельной проницаемости нанофильтрационных мембран при повышении температуры и снижении кислотности обрабатываемого раствора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию . Москва .: ДеЛипринт . 2007. 208 с .

2. Перспективы развития мембранной науки П.Ю. Апель [и др.]. // Мембраны и мембранные технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 59-80. doi: 10.1134/S2218117219020020.

3. Ковалев С.В., Лазарев С.И., Лазарев К.С. Регенерация обратноосмотических и электроосмофильтрационных мембран при разделении сульфатсодержащих растворов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2010. № 2. С. 78-80.

4. ЗАО НТЦ «Владипор»: официальный сайт. – Владимир. – URL: https://vladipor.ru/

5. Голованева Н.В., Каграманов Г.Г., Фарносова Е.Н. Нанофильтрационная очистка воды от

солей жесткости // Вода: Химия и экология. № 5, 2014, С. 36 – 41.

Информация об авторах

Н. В. Алексеева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» Тамбовского государственного технического университета;

Е. Д. Романов – аспирант кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» Тамбовского государственного технического университета;

А. В. Рухов – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химия и химические технологии» Тамбовского государственного технического университета;

К. И. Мартьянов – кандидат технических наук, заместитель начальника центральной лаборатории АО «Пигмент».

REFERENCES

1. Svittsov, A.A. (2007) *Introduction to Membrane Technology.* Moscow: DeLiprint. (InRuss.).

2. Apel, P.Yu., Bobreshova O.V., Volkov A.V., Volkov V.V., Nikonenko V.V., Stenina I.A., Filippov A.N., Yampolskii Yu.P. & Yaroslavtsev A.B. (2019) Prospects of membrane science development. *Membranes and Membrane Technologies*. (2), 45-63. (In Russ.).doi: 10.1134/S2218117219020020.

3. Kovalev, S.V., Lazarev, S.I. & Lazarev K.S. (2010) Regeneration of reverse osmosis and electroosmofiltration membranes when separating sulfate-containing solutions. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. (2), 78-80 (In Russ.).

4. *Sait the company CJSC Scientific and Technical Center "Vladipor"* Retrieved from https://vladipor.ru/ (In Russ.).

5. Golovaneva N.V., Kagramanov G.G. & Farnosova Ye.N. (2014) Nanofiltration water purging of hardness salts. *Water: chemistry and ecology*. (5), 36-41. (In Russ.).

Information about the authors

N. V. Alekseeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Technological processes, devices and technospheric safety» of the Tambov State Technical University;

E. D. Romanov, graduate student of the Department of «Technological processes, devices and technospheric safety» of the Tambov State Technical University;

A. V. Rukhov, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of «Chemistry and chemical technology» of the Tambov State Technical University;

K. I. Martyanov, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Central Laboratory JSC "Pigment".

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

Статья поступила в редакцию 26 ноября 2023; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 26 Nov 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 181–190.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 181–190.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки).
УДК 669-1
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.027 EDN: IDMZJJ

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ ТОНКИХ ЛЕНТ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ АД0, АМЦ и Д16

Екатерина Александровна Носова [1], Василий Андреевич Разживин [2], Антонина Александровна Кузина [3], Александр Викторович Трибунский [4]

[1, 2, 3, 4] Самарский университет, Самара, Россия
[1] eanosova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5490-3235
[2] vasia.razzhivin@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9735-5307
[3] kuzinaantonina@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5109-4428.
[4] tribunsky.alexander@mail.ru, https://orcid.org/0009-0000-6881-1561

Аннотация. *Уменьшение толщины листовых алюминиевых сплавов позволяет получать облегчённые конструкции и слоистые композиты. Однако при уменьшении толщины образцов менее 0,5 мм существенно изменяются механические и технологические свойства сплавов. Одной из причин такого поведения является кристаллографическая текстура. Для изучения её особенностей методом холодной прокатки получены тонкие ленты из сплавов АД0, АМц и Д16 толщиной 0,4 и 0,2 м, проведён отжиг. Представлены прямые и обратные полюсные фигуры, зависимости полюсной плотности от толщины образцов и марки сплава. Установлено, что в сплаве Д16 после холодной прокатки и отжига в образцах толщиной 0,4 и 0,2 мм текстурные компоненты сохраняются, изменяется их полюсная плотность. В техническом алюминии АД0 отдельные текстурные компоненты, такие как {110}<1-12>, {4-16}<-121>, {-3-5-1}<1-12>, {110}<001> сохраняются, компоненты {213}<11-1> и {311}<-112> присутствуют только в образцах толщиной 0,4 мм, а компоненты {1-31} <323> и {-101}<353> присутствуют только в образцах толщиной 0,2 мм. В сплаве АМц велика бестекстурная составляющая, которая представляет собой набор различных компонент, которые не встречаются в большинстве алюминиевых сплавов, в том числе в тех, которые представлены в этом исследовании. Механические свойства тонких лент из исследуемых сплавов связаны с кристаллографической текстурой. Постоянство текстурных компонент в образцах из сплава Д16 приводит к снижению механических свойств с уменьшением толщины от 0,4 до 0,2 мм. Бестекстурное состояние, которое наблюдается в сплаве АМц, вызывает снижение прочностных показателей и повышение пластичности, а смешанное состояние кристаллографической текстуры в техническом алюминии АД0 вызывает увеличение прочностных показателей и снижение относительного удлинения.*

Ключевые слова: *тонкие ленты, алюминиевые сплавы, кристаллографическая текстура, прямые полюсные фигуры, обратные полюсные фигуры, полюсная плотность, механические свойства.*

Для цитирования: Носова Е. А., Разживин В. А., Кузина А. А., Трибунский А. В. Исследование кристаллографической текстуры тонких лент из алюминиевых сплавов АД0, АМц и Д16 // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 181 – 190. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.027, EDN: https://elibrary.ru/IDMZJJ.

Original article

INVESTIGATION OF THE CRYSTALLOGRAPHIC TEXTURE OF THIN TAPES MADE OF ALUMINUM ALLOYS AD0, AMC AND D16

Ekaterina A. Nosova [1], Vasiliy A. Razzhivin [2], Antonina A. Kuzina [3], Aleksander V. Tribunskiy [4]

[1, 2, 3, 4] Samara University, Samara, Russia
[1] eanosova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5490-3235
[2] vasia.razzhivin@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9735-5307

© Носова Е. А., Разживин В. А., Кузина А. А., Трибунский А. В., 2024

[3] kuzinaantonina@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5109-4428.
[4] tribunsky.alexander@mail.ru, https://orcid.org/0009-0000-6881-1561

Abstract. *The reduction in the thickness of aluminium sheet alloys allows the production of lightweight structures and laminated composites. However, the mechanical and technological properties of alloys change significantly when the thickness of samples is reduced to less than 0.5 mm. One reason for this behavior is the crystallographic texture. To study its features, thin tapes of 0.4 and 0.2 m thick AD0, AMc and D16 alloys were produced by cold rolling and annealed. There are complete and inverse pole figures, dependence of pole density on thickness of samples and grade of alloy. It has been established that in the alloy D16 after cold rolling and annealing in 0.4 and 0.2 mm thick samples texture components are retained, their pole density is changed. In technical aluminium AD0, some texture components such as {110}<1-12>, {4-16}<-121>, {-3-5-1}<1-12>, {110}<001> are retained, components {213}<11-1> and {311}<112-> are present only in samples thickness 0,4, and components {31-1}<353> are only present in 0.2 mm thick samples. The Al-1%Mn alloy has a large textless component, which is a set of different components that are not found in most aluminum alloys, including those presented in this study. The mechanical properties of thin tapes made of studied alloys are related to the crystallographic texture. The consistency of texture components in D16 alloy samples results in a reduction in mechanical properties with a reduction in thickness from 0.4 to 0.2 mm. The textless condition observed in the Al-1%Mn alloy causes a decrease in strength and an increase in plasticity, a mixed state of crystallographic texture in technical aluminium AD0 causes increased strength and reduced elongation.*

Keywords: *thin bands, aluminum alloys, crystallographic texture, straight complete, reverse inverse, pole density, mechanical properties.*

For citation: Nosova E.A., Razzhivin V.A., Kuzina A.A. & Tribunskiy A.V. (2024). Investigation of the crystallographic texture of thin tapes made of aluminum alloys AD0, AMC AND D16. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 181-190. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.027. EDN: https://elibrary.ru/IDMZJJ.

ВВЕДЕНИЕ

Облегчение конструкций из алюминиевых сплавов приводит к необходимости уменьшения их толщины [1, 2]. Это позволяет получать мембранные изделия, экономить листовые материалы, а также снижает финансовую нагрузку при их транспортировке. Однако при уменьшении толщины наблюдается снижение механических свойств и характеристик штампуемости [3], которые необходимы для реализации технологических процессов.

Также уменьшение толщины актуально и для слоистых композитов или многослойных материалов. Получение из них гнутых или цельнотянутых изделий требует обеспечения необходимой штампуемости. Выявлено, что при прокатке и отжиге листовых алюминиевых сплавов до толщины 0,4 мм значительного изменения свойств и структуры по сравнению с образцами толщиной 1 мм не наблюдается. Но при меньшей толщине снижение механических свойств становится ярко выраженным [4,5].

Причинами снижения механических и технологических характеристик в сплаве определённой марки могут быть размер зерна, фазовый состав, накопление дефектов кристаллического строения после больших обжатий и применения отжигов с относительно невысокими температурами или сравнительно короткими выдержками [6, 7, 8]. Но наиболее значимой для штампуемости является кристаллографическая текстура [8,9]. Применительно к алюминиевым сплавам, в ряде работ выявлено влияние определённых ориентировок и их полюсной плотности на показатели анизотропии прочностных и пластических свойств (коэффициенты поперечной деформации и коэффициенты Лэнкфорда), показатели предельных деформаций, предельный коэффициент вытяжки [10,11]. Например, кристаллографические ориентировки {123}<634> и {100}<001> снижают анизотропию пластических характеристик, а ориентировки {112}<111> и {100}<011>, наоборот, её усиливают [12].

Формирование кристаллографической текстуры происходит на всех этапах производства листовых полуфабрикатов, начиная от литья слитков, и заканчивая пластическим деформированием и термической обработкой [13, 14, 15].

На практике кристаллографическую текстуру изучают с помощью полюсных фигур, которые отражают распределение полюсной плотности определённой кристаллографической плоскости [9, 10, 12]. Но на показатели механических и технологических свойств может оказывать влияние не только положение определённой плоскости, но и полюсная плотность, т.е. объём структуры или количество зёрен, имеющих схожую кристаллографическую ориентировку [13,14].

Целью исследования было изучить видоизменение кристаллографической текстуры в сплавах АД0, АМц и Д16 в результате холодной прокатки и отжига лент толщиной 0,4 мм до толщины 0,2 мм, а также влияние этого видоизменения на механические свойства указанных сплавов.

МЕТОДЫ

Для исследования применялись листовые образцы из сплавов Д16, АМц и технического алюминия АД0 толщиной 2 мм.

Образцы подвергались холодной прокатке до толщины 0,4 и 0,2 мм.

Для восстановления пластичности образцы подвергались отжигу по режимам, представленным в таблице 1 [4, 6, 8].

Таблица 1 – Режимы термической обработки образцов
Table 1 – Modes of heat treatment of samples

Сплав	Температура, ˚С	Время выдержки, минуты
Д16	480±3	60
АМц	380±3	60
АД0	320±3	60

Охлаждение проводилось на воздухе до полного остывания.

Кристаллографическую текстуру изучали с помощью прямых и обратных полюсных фигур.

Для получения данных о текстуре и построения прямых полюсных фигур использовался рентгенографический дифрактометр ДРОН-7М (Буревестник, Санкт-Петербург, Россия), оснащенный приставкой гониометрической для исследования текстур и макронапряжений (ПГТМ), применяли медное Cu-α-излучение. Для анализа прямых и построения обратных полюсных фигур, оценки компонент текстуры и полюсной плотности применяли программный комплекс LaboTex (LaboSoft, Краков, Польша).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Прямые и обратные полюсные фигуры для образцов исследуемых сплавов для толщины 0,4 и 0,2 мм представлены на рисунках 1-6.

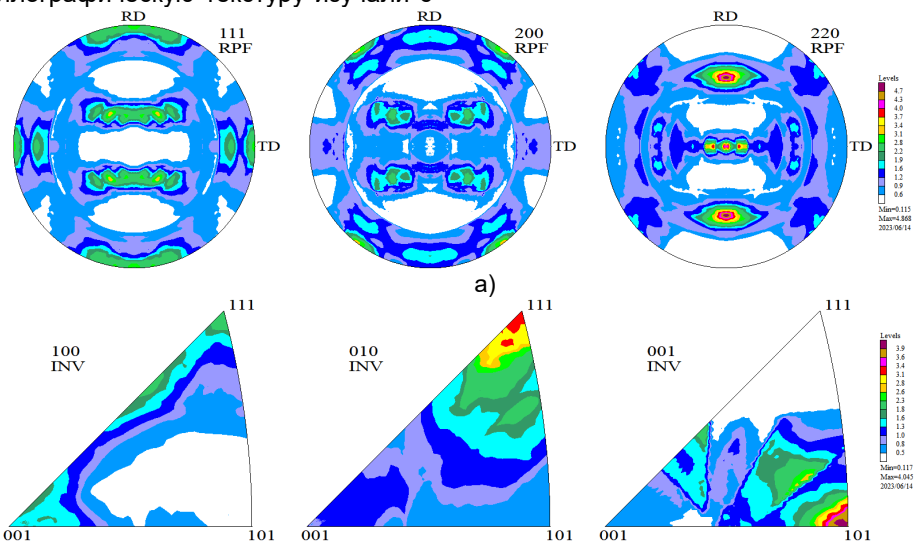


Рисунок 1 – Прямые (а) и обратные (б) полюсные фигуры образцов из сплава АД0 толщиной 0,4 мм
Figure 1 – Complete (a) and inverse (б) pole figures for the samples of aluminum grade AD0 of thickness 0.4 mm

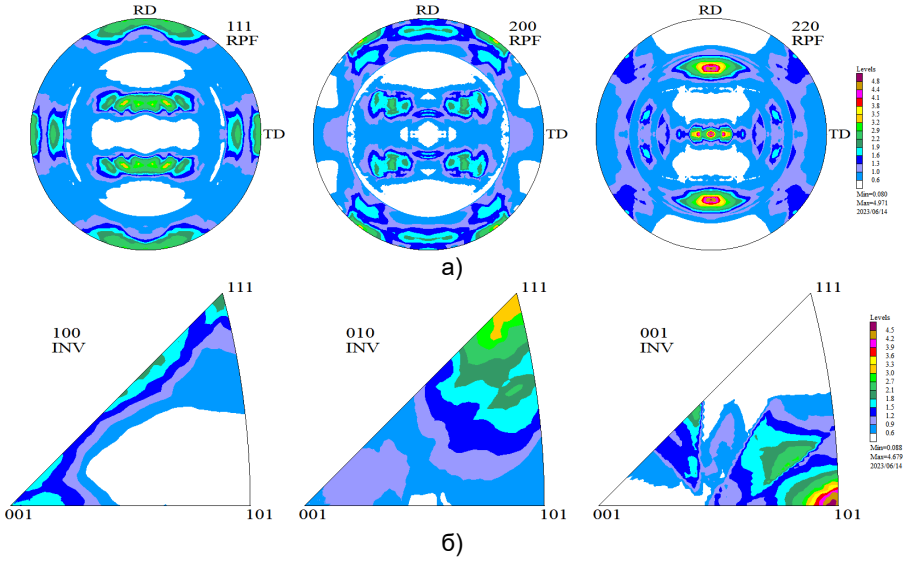


Рисунок 2. Прямые (а) и обратные (б) полюсные фигуры образцов из сплава АД0 толщиной 0,2 мм
Figure 2. Complete (a) and inverse (б) pole figures for the samples of aluminum grade AD0 of thickness 0.2 mm

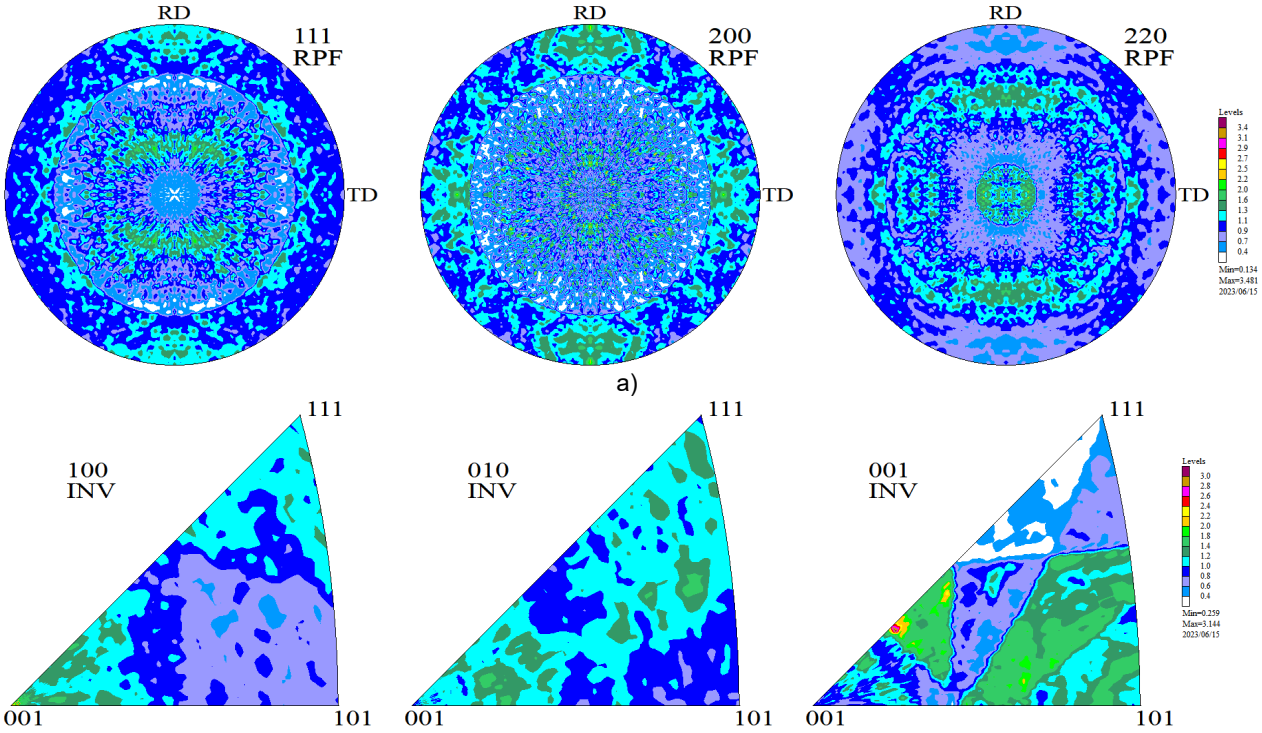


Рисунок 3. Прямые (а) и обратные (б) полюсные фигуры образцов из сплава АМц толщиной 0,4 мм
Figure 3. Complete (a) and inverse (б) pole figures for the samples of aluminum alloy Al-1%Mn of thickness 0.4 mm

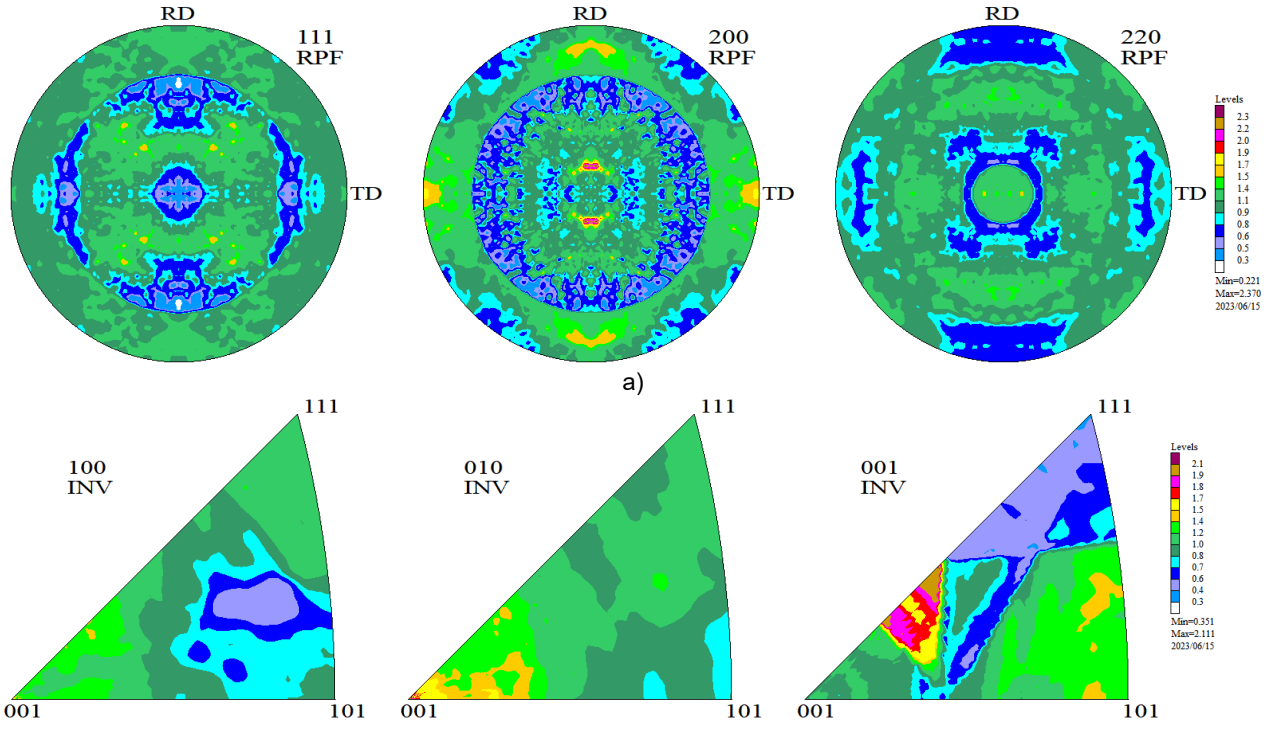


Рисунок 4. Прямые (а) и обратные (б) полюсные фигуры образцов из сплава АМц толщиной 0,2 мм
Figure 4. Complete (a) and inverse (б) pole figures for the samples of aluminum alloy Al-1%Mn of thickness 0.2 mm

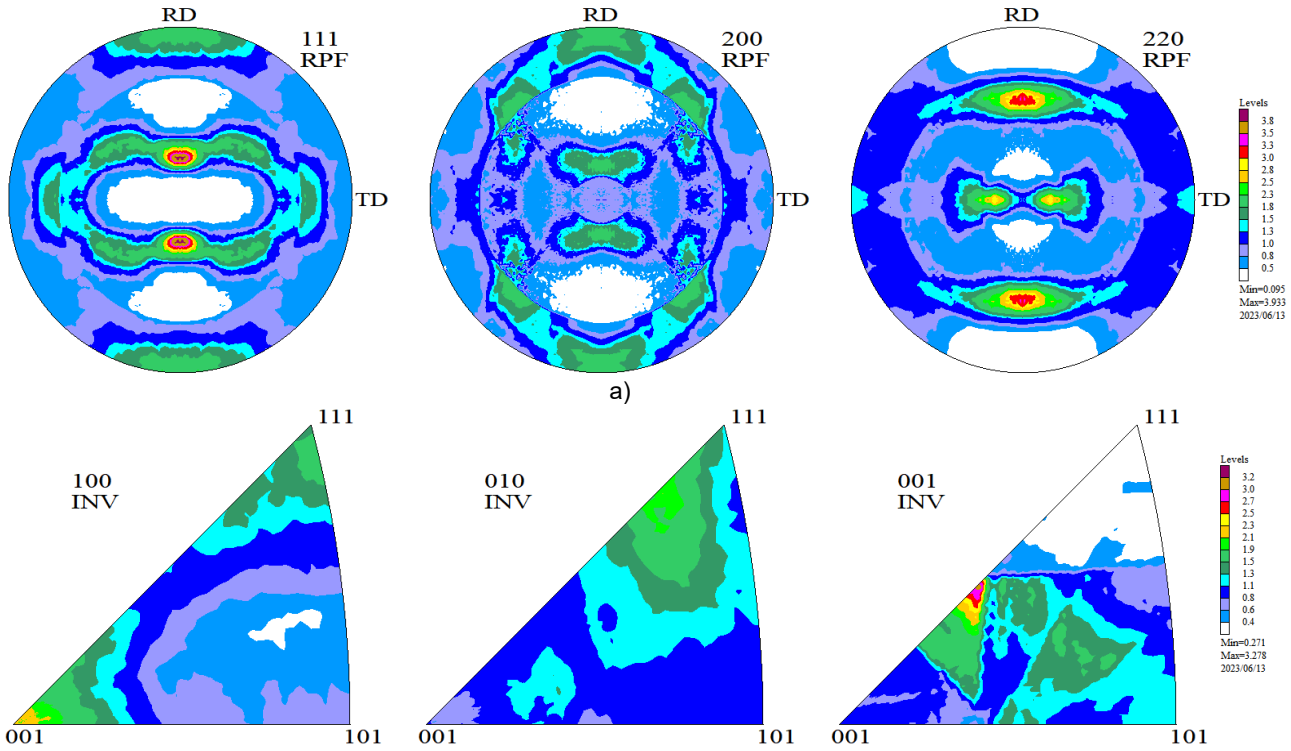


Рисунок 5. Прямые (а) и обратные (б) полюсные фигуры образцов из сплава Д16 толщиной 0,4 мм
Figure 5. Complete (a) and inverse (б) pole figures for the samples of aluminum alloy AA2024 of thickness 0.4 mm

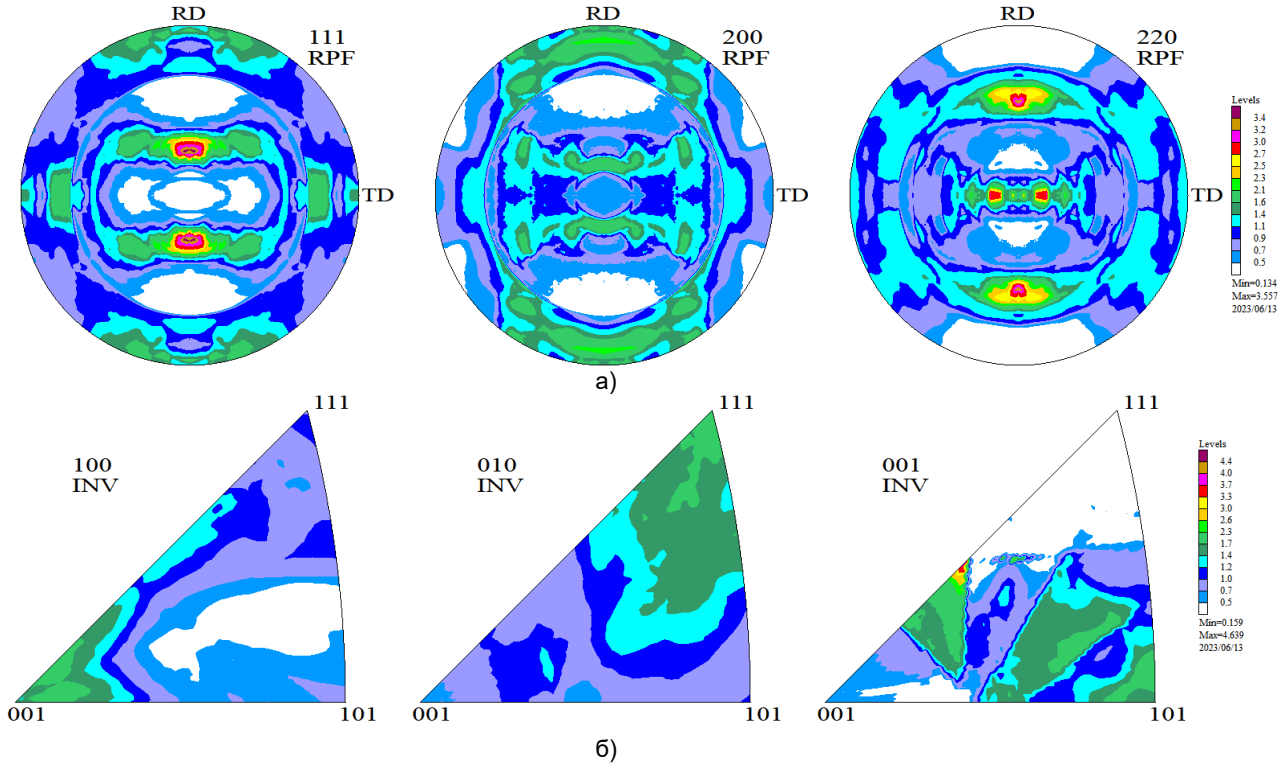


Рисунок 6. Прямые (а) и обратные (б) полюсные фигуры образцов из сплава Д16 толщиной 0,4 мм
Figure Complete (a) and inverse (б) pole figures for the samples of aluminum alloy AA2024 of thickness 0.2 mm

Анализ прямых и обратных полюсных фигур показывает, что в образцах из сплавов АД0 и Д16 наблюдается характерная текстура прокатки, а в сплаве АМц наблюдается симметрия

кристаллографической текстуры, характерная для прокатки, однако полюсная плотность и типичные компоненты текстуры принципиально изменяются после прокатки образцов толщиной 0,4 мм до толщины 0,2 мм. Представленная типичная интерпретация кристаллографической текстуры не позволяет сделать более детальный анализ компонент текстуры и её полюсной плотности для сплавов между собой. Для этого в таблицах 2-4 представлена полюсная плотность (объёмная доля зёрен) с характерной текстурной компонентой.

Таблица 2 – Набор текстурных компонент в образцах из технического алюминия АД0

Table 2 – A set of textural components in samples made of technical aluminum AD0

№ компоненты	Компоненты текстуры	Объёмная доля, %, в образцах толщиной	
		0,4 мм	0,2 мм
1	{110}<1-12>	33	23
2	{4-16}<-121	20	13
3	{-3-5-1}<1-12>	16	10
4	{213}<11-1>	13	
5	{311}<-112>	11	
6	{110}<001>	5	4
7	{1-31} <323>		23
8	{-101}<353>		23
	Итого	98	96
	Фон	2	4

Таблица 3 – Набор текстурных компонент в образцах из сплава АМц

Table 3 – Set of textural components in AMc alloy samples

№ компоненты	Компоненты текстуры	Объёмная доля, %, в образцах толщиной	
		0,4 мм	0,2 мм
1	{0-15}<100>	28	
2	{210}<-121>	21	
3	{210}<-122>	16	
4	{213}<11-1>	12	
5	{311}<10-3>	11	15
6	{110}<-111>	8	
7	{311}<-112>		24
8	{-3-1-1}<2-5-1>		20
9	{110}<1-12>		13
10	{-101}<353>		12
11	{110}<1-11>		8
	Итого	96	92
	Фон	4	8

Анализ компонент текстур и их полюсной плотности (таблицы 1-3) показывает, что текстурные компоненты в сплавах в зависимости от толщины изменяются. Например, для технического алюминия при толщине образцов 0,4 и 0,2 мм одинаковыми являются текстурные компоненты {110}<1-12>, {4-16}<-121>, {-3-5-1}<1-12>, {110}<001>, при уменьшении толщины изменятся только их полюсная плотность, но компоненты присутствуют только для образцов толщиной 0,4 мм, а компоненты {1-31} <323> и {-101}<353> - только в образцах толщиной 0,2 мм. Для образцов из сплава Д16 общими компонентами для обеих толщин являются все наблюдаемые компоненты, но с техническим алюминием АД0 общими являются компоненты {110}<1-12>, {110}<001>, {-3-5-1}<1-12>, {311}<-112>, а вместо компоненты {4-16}<-121>, присутствующей в АД0 в обеих толщинах и имеющая значительные показатели полюсной плотности (P0,4=20 и P0,2=13) наблюдается текстурная компонента {1-31} <323> с полюсной плотностью P0,4=31% и P0,2=26%. В образцах из сплава АМц при уменьшении толщины образцов от 0,4 мм до 0,2 мм сохраняется текстурная компонента {311}<10-3> и даже увеличивается её полюсная плотность от 11 до 15%. Остальные компоненты не совпадают ни у двух толщин одного сплава, ни дублируются с образцами сплавов АД0 и Д16, за исключением компоненты {110}<1-12> («текстура латуни»), общей у АМц толщиной 0,2 мм и образцами АД0 и Д16 обеих толщин с остальными и {213}<11-1>, общей у образца из сплава АМц толщиной 0,4 мм и АД0 толщиной 0,4 мм.

Таблица 4 – Набор текстурных компонент в образцах из сплава Д16

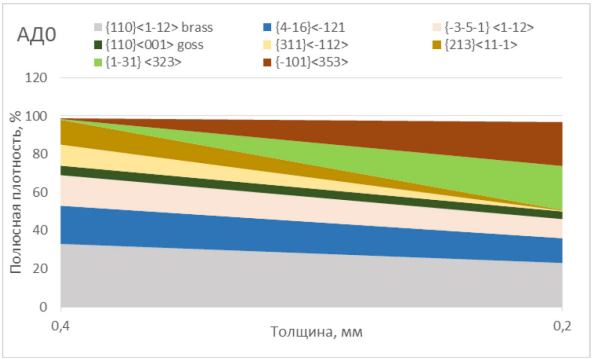
Table 4 – A set of textural components in D16 alloy samples

№ компоненты	Компоненты текстуры	Объёмная доля, %, в образцах толщиной	
		0,4 мм	0,2 мм
1	{1-31} <323>	31	26
2	{-3-5-1} <1-12>	22	19
3	{311} <-112>	20	19
4	{421} <-112>	17	14
5	{110}<001>	3	10
6	{110}<1-12>	3	9
	Итого	96	97
	Фон	4	3

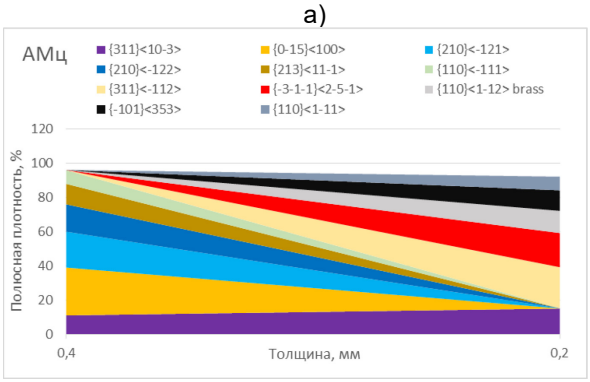
Графическое представление указанных выше наблюдений представлено на рисунке 7, на котором одинаковые компоненты текстур обозначены одним цветом: например текстура Госса {110}<001> имеет темно зелёный цвет, а текстура латуни {110}<1-12> - светло серый. Такая интерпретация позволяет наглядно отразить изменения кристаллографической текстуры в перечисленных сплавах в зависимости от толщины тонких лент. Заметим при этом, что направление горизонтальной оси и порядок аргумента направлен в порядке убывания толщи-

ны, что объясняется её уменьшением при проведении прокатки.

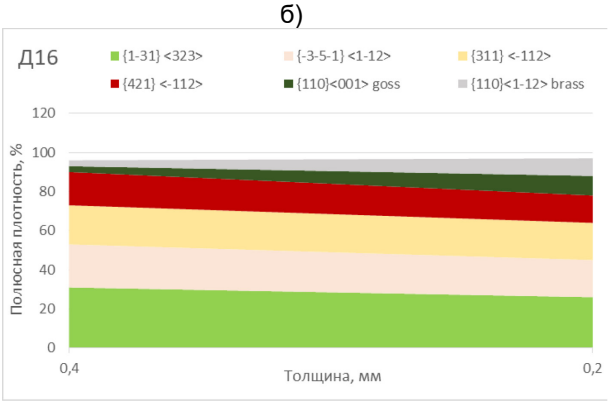
Изменение основных механических свойств образцов показано на рис. 8. Графики показывают, что в тонких образцах уровень значений примерно одинаков у всех 3 сплавов, несмотря на различный химический состав и ожидаемый более высокий уровень у сплава Д16.



а)



б)

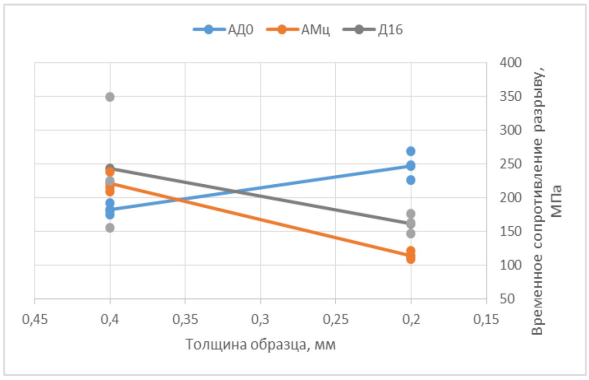


в)

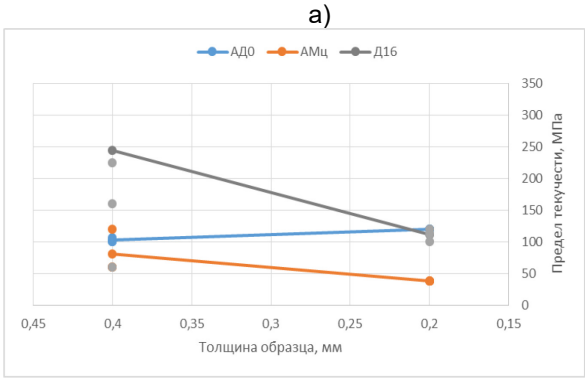
Рисунок 7- Графическое представление полюсной плотности образцов из сплавов АД0 (а), АМц (б), Д16 (в) в зависимости от толщины

Figure 7. Graphical interpretation of the pope density for the samples of aluminum grade AD0 (a), aluminum alloys Al-1%Mn (б) and AA2024 (в) in dependence on thickness

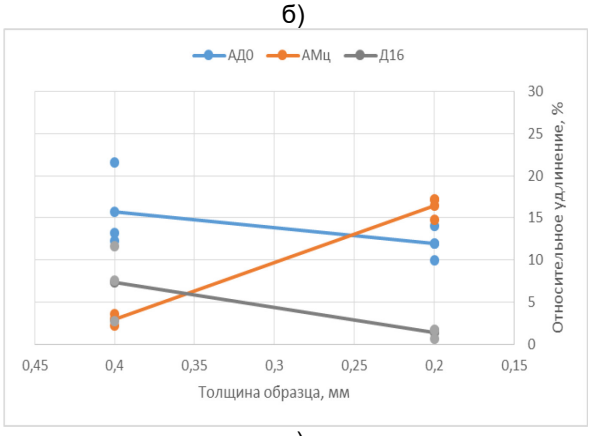
Это указывает на значительное влияние кристаллографической текстуры на механические свойства материалов, особенно при уменьшении толщины менее 0,5 мм. У образца АМц, имеющего наиболее высокие значения бестекстурной составляющей (рис.3, 4) снижение толщины приводит к снижению показателей прочности и повышению относительного удлинения. У образцов Д16, имеющих постоянство в наборе компонент текстуры при уменьшении толщины от 0,4 до 0,2 мм, снижаются все показатели механических свойств, как прочностных, так и пластических.



а)



б)



в)

Рисунок 8- Изменение временного сопротивления разрыву (а), предела текучести (б) и относительного удлинения (в) образцов из сплавов АД0, АМц, Д16 в зависимости от толщины

Figure 8. Ultimate strength (a), yield stress (б) and elongation for the samples of aluminum grade AD0 (a), aluminum alloys Al-1%Mn and AA2024 in dependence on thickness

У образца их технического алюминия АД0, имеющего повторение компонент текстуры, а также появление или исчезновение отдельных компонент текстуры при уменьшении толщины, показатели прочности повышаются, при этом наблюдается снижение относительного удлинения.

ОБСУЖДЕНИЕ

В [9] показано, что в зависимости от степени совершенства текстуры прокатки, состава сплава, режима отжига и некоторых других факторов в алюминиевых сплавах АМг6, ВД1 и 1441 (толщиной 1–3 мм) при оптимальных условиях текстура отжига характеризуется кубической компонентой {001}⟨100⟩, сильной и в высокой степени совершенной. Но возможно и образование текстуры со средней или слабой кубической {001} компонентой, с большим рассеянием по плоскости и направлению, а также с присутствием в структуре ориентаций из областей рассеяния текстурных компонент деформации [16]. После отжига текстура листов указанных сплавов существенно изменяется: в центре полюсных фигур {200} образцов отожжённых образцов появляется повышенная полюсная плотность, которая отсутствует в центре полюсных фигур {200} образцов после прокатки. Однако в текстуре отжига могут присутствовать и ориентации из областей рассеяния текстурных компонент деформации, о чем свидетельствует вид полюсной фигуры. Полюсные фигуры {111} образцов после промежуточного отжига подтверждают возможность развития двух типов текстур. Рассредоточенный и нечеткий вид областей повышенной интенсивности на полюсных фигурах отожженных образцов, по мнению авторов [9], связан с несовершенством исходной текстуры деформации, а также того, что во время отжига при высоких температурах успевал происходить значительный рост зерна.

В [17] представлен способ обработки сплава 2xxx, который обеспечивает получение рекристаллизованного листового проката с улучшенным сочетанием прочности и вязкости. Полученный прокат имел текстуру латуни и текстуру Госса, при этом интенсивность текстуры Госса меньше, чем интенсивность текстуры латуни.

В [18] изучено влияние кристаллографической текстуры и структуры границ зёрен на механические свойства сверхпластичных алюминиевых сплавов Al-2ат%Mg-0.16ат%Zr и Al-2ат%Cu-0.16ат%Zr с одинаковым исходным размером зёрен 8 мкм. В исходном состоянии (электронно-микроскопические и рентгеноструктурные исследования) сплавы содержат различную кристаллографическую текстуру. В сплаве Al-Mg-Zr выявлено около 70% границ зёрен, близких к специальным, и кристаллографическая текстура с высокой интенсивностью максимумов в направлении, близком к направлению прокатки (НП), на полюсной фигуре (111). В сплаве Al-Cu-Zr выявлено более 90 % границ зёрен обычного типа с произвольной разориентировкой зёрен. Кристаллографическая текстура сплава с 2 % меди характеризуется низкими значениями интенсивностей максимумов полюсной фигуры (111). Обнаружено, что улучшенные значения показателей сверхпластичности наблюдаются в сплаве Al-Cu-Zr с обычными границами зёрен и менее острой кристаллографической текстурой.

В [10] выявлены признаки значительных различий в эволюции текстуры между чистым Al (AA1070) и его сплавами 4,5%Mg alloy (AA5083) и Al-4,5% Cu-сплав (AA2014). Ультра мелкозернистая структура (размер зерна 1,2-1,5 мкм) в алюминии имеет острую текстуру меди, а в сплавах присутствует смешанная текстура, включающая текстуру латуни, S, меди и текстуру Dillamore- компонентов вместе с текстурой β-волокна (β-fiber).

Образцы с мелкозернистой структурой (3,85…4,0 - 4 мкм) этих сплавов содержат комбинацию элементов деформации и рекристаллизации текстуры (Goss и Cube), а образцы с крупнозернистой структурой (16,4…20 мкм) теряют большинство своих текстурных характеристик. Среди исследованных материалов, у мелкозернистого алюминия AA1070 наблюдалось сочетание самых высоких показателей анизотропии (R) и предельной степени деформации с почти нулевой планарной анизотропией (ΔR). Это позволило успешно реализовать глубокую вытяжку, что авторы связывают с благоприятной текстурой, состоящей из комбинации компонент текстуры меди и размытых компонентов куба и особенностями границ зёрен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение прокатки с обжатием 50 % и отжига тонких образцов толщиной 0,2 и 0,4 мм сплавов АД0, АМц и Д16 по общепринятым в производстве режимам приводит к видоизменению кристаллографической текстуры.

В сплаве Д16 после указанной обработки текстурные компоненты сохраняются, изменяется их полюсная плотность. В техническом алюминии отдельные текстурные компоненты, такие как {110}<1-12>, {4-16}<-121>, {-3-5-1}<1-12>, {110}<001> сохраняются, но в то же время компоненты {213}<11-1> и {311}<-112> в результате прокатки и отжига исчезают, но появляются компоненты {1-31} <323> и {-101}<353>. В сплаве АМц велика бестекстурная составляющая, которая представляет собой набор различных компонент, которые не встречаются в большинстве алюминиевых сплавов.

Механические свойства тонких лент из исследуемых сплавов связаны с кристаллографической текстурой. Постоянство текстурных компонент в образцах из сплава Д16 приводит к

снижению механических свойств с уменьшением толщины от 0,4 до 0,2 мм. Состояние, которое наблюдается в сплаве АМц, вызывает снижение прочностных показателей и повышение пластичности, а промежуточное состояние кристаллографической текстуры в техническом алюминии АД0 вызывает увеличение прочностных показателей и снижение относительного удлинения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Avalanche dynamics in crumpled aluminum thin foils / M. Abobaker [и др.]. // Scripta Materialia. 2015. № 99. С 17-20, https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2014.11.016.

2..T.A. Kals, R. Eckstein. Miniaturization in sheet metal working //J. Mater. Process. Technol. 2000. 103. C 95–101, https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00391-5.

3. Effect of annealing temperature on microstructure and tensile properties of copper/aluminum composite thin strip / Ch. Wang [и др.]. // Trans. Nonfer. Met. Soc. of China. 2023. № 33 (3). С. 701-713, https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.188.

4. Research of sheet thickness effect on mechanical and technological properties of Al-1%Mn aluminium alloy / E.Nosova и др.]. // Int. J. Nanotech. 2018. т. 15. № 4-5. с. 324-332. https://doi.org/10.1504/IJNT.2018.094789.

5. Tribunskiy A.V., Nosova E.A., Aryshenskiy V.Yu. Effect of manganese and magnesium content and conditions of annealing on mechanical properties and cracking formation during bending of aluminum alloy AA3005 // Solid State Phenomena. 2018. т. 284. с. 476-482, https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.476.

6. Diehl A., Engel U., Geiger M., Influence of microstructure on the mechanical properties and the forming behaviour of very thin metal foils // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2010. №47. С 53–61, https://doi.org/10.1007/s00170-008-1851.

7. Влияние высокотемпературного отжига алюминиевых сплавов АМг6 и В95 на их структурно-фазовое состояние и прочностные свойства / Зенин М.Н [и др.]. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2022. Т. 19. № 1. С. 106-114, DOI: 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.01.012.

8. Луконина (Селиверстова) Н.В. Влияние структурной энтропии на штампуемость листов из алюминиевых сплавов АД0 (1011) И Д16 (1160) // Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 151-159.

9. Исследование текстуры алюминиевых сплавов после холодной прокатки, отжига и облучения ионами Ar+ 2010 г. / Овчинников В. В. и др.]. // Физика металлов и металловедение. 2010, том 109, № 1, с. 83–92

10. Dhal A., Panigrahi S.K., Shunmugam M.S. A comprehensive study on size-effect, plastic anisotropy and microformability of aluminum with varied alloy chemistry, crystallographic texture, and microstructure // Materials Science & Engineering A. 2023. № 876. С. 145111.

11. Исследование влияния исходной анизотропии механических свойств листов из алюминиевого сплава 8011А на предельный угол инкрементального формообразования / Петров И.Н [и др.]. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2023. № 2 (44). С. 79-86.

12. Исследование влияния кристаллографической текстуры на кривые предельных деформаций листовых заготовок / Я.А. Ерисов [и др.]. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2020. т. 22, № 2, с. 118-123.

13. Арышенский Е.В. Подход к учету ориентированого роста зерен при моделировании рекристаллизации алюминиевых сплавов // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 133-139.

14. Разработка метода математического моделирования текстурных составляющих при прокатке Арышенский Е.В [и др.]. // Цветные металлы. 2023. № 6. С. 65-72.

15. Изучение эволюции кристаллографической текстуры при вытяжке низколегированного алюминиевого сплава Арышенский Е.В[и др.]. // Цветные металлы. 2022. № 5. С. 60-66.

16. Текстурные преобразования при отжиге алюминиевых фольг. 1. Сильные текстурные компоненты / Титоров Д.Б [и др.]. //ФММ. 2006. № 1. С. 91–97.

17. Рекристаллизованные алюминиевые сплавы с текстурой латуни и способы их получения: Пат. 2492260 Рос. Федерация № 2010117372/02; заявл. 10.11.2011; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 25. 37 с.

18. Валиев Р.З., Ценев Н.К., Кайбышев О.А., Мышляев М.М. Влияние структуры границ зерен на развитие механизмов сверхпластической деформации алюминиевых сплавов.// Металлургия. -1990,-№10.-С.191-196.

Информация об авторах

Е. А. Носова – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедры «Технологии металлов и авиационного материаловедения» Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королёва.

В. А. Разживин - инженер кафедры «Обработки металлов давлением» Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королёва.

А. А. Кузина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии металлов и авиационного материаловедения» Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королёва.

А. В. Трибунский - инженер кафедры «Технологии металлов и авиационного материаловедения» Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королёва.

REFERENCES

1. Abobaker M., Bouaziz O., Lebyodkin M., Lebedkina T. & Shashkov I.V. (2015) Avalanche dynamics in crumpled aluminum thin foils. *Scripta Materialia*, (99), 17-20. https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2014.11.016

2. Kals T.A. & Eckstein R. (2000) Miniaturization in sheet metal working. J. Mater. Process. Technol. (103) 95–101, https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00391-5.

3. Wang C., Ma I., Ma X., Wang T., Jiang Z., Hasan M., Zhao J. (2023) Effect of annealing temperature on microstructure and tensile properties of copper/aluminum composite thin strip. *Trans. Nonfer. Met. Soc. of China.(*33 (3)) 701-713, https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.188.

4. Research of sheet thickness effect on mechanical and technological properties of Al-1%Mn aluminium alloy / Nosova, E., Lukonina, N., Khramova M.,& Matviyuk, V. (2018). *Int. J. Nanotech.* (15 (4-5) 324-332. https://doi.org/10.1504/IJNT.2018.094789.

5. Tribunskiy A.V., Nosova E.A., Aryshenskiy V.Yu. Effect of manganese and magnesium content and conditions of annealing on mechanical properties and cracking formation during bending of aluminum alloy AA3005 (2018) *Solid State Phenomena*. (284) 476-482, https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.476.

6. Diehl A., Engel U. & Geiger M. Influence of microstructure on the mechanical properties and the forming behaviour of very thin metal foils (2010) *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* (47) 53–61, https://doi.org/10.1007/s00170-008-1851.

7. Zenin, M. N. Guryev, A. M. Ivanov, S. G. Guryev, M. A. , & Chernykh, E. V. . (2022) Influence of high temperature annealing of aluminum alloys AMg6 and B95 on their structural phase state and strength properties *Fundamental Problems Of Modern Materials Science*, 19(1), 106-114. (In Russ.), DOI: 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.01.012.

8. Lukonina (Seliverstova) N.V. (2019) Influence of structural entropy on the stampability of aluminum alloy sheets AD0 (1011) and D16 (1163) (2019) *Polzunovsky Bulletin*. (2). 151-159 (In Russ.).

9. Ovchinnikov V. V., Gushchina N. V., Titorov D. B., Titorova D. V., Mozharovsky S. M.,. Filippov A. V (2010) Study of the texture of aluminum alloys after cold rolling, annealing and irradiation by ions Ar+ Metal *Phys. Met. Sci*.(109(1)) 83–92 (In Russ.).

10. Dhal A., Panigrahi S.K., Shunmugam M.S. (2023) A comprehensive study on size-effect, plastic anisotropy and microformability of aluminum with varied alloy chemistry, crystallographic texture, and microstructure *Mat. Sci. & Eng.* A. (876) 145111.

11. Petrov Y. N., Razzivin V. A., Vorobyev D. I., Smalzer A. V., Sargayeva T.S. (2023) Study of the influence of the anisotropy of the mechanical properties of aluminum alloy sheets of 8011a on the ultimate angle of incremental formation. *Vestnik of Siberian State Industrial University* (2 (44)) 79-86. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-2(44)-79-86.

12. Yerisov J. A., Grechnikov F. V., Surudin S. V., & Razzivin V. A. (2020). Study of the influence of crystallographic texture on curves of extreme deformations of sheet blanks. *Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Bulletin*, 22 (2), 118-123. (In Russ.) DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-2-118-123.

13. Aryshensky E.V. (2020). Approach to the accounting of oriented grain growth in the modelling of the recrystallization of aluminum alloys. *Polzunovskiy Vestnik*, (2), 133-139. (In Russ.).

14. Aryshenskiy Y. V., Konovalov S. V., Aryshensky V. Y. & Beglov E. D. (2023) Development of the method of mathematical modeling of textured components during rolling *Non-fer. Met*. (6). 65-72. . (In Russ.) DOI:10.17580/tsm.2023.06.09.

15. Aryshensky Y. V., Konovalov S. V., Latushkin I. A., Lapshov M. A. (2022) .Study of evolution of crystallographic texture in low alloy aluminum alloy exhaust *Non-fer. Met*. (5). 60-66 DOI: 10.17580/tsm.2022.05.08 . (In Russ.).

16. Titorov D.B., Volkov V.A., Lebedev V.P., Mineev F.V., Titorova D.V. Texture conversion for annealing aluminum foil. 1. Strong texture components (2006). *Mat. Phys. Mech*. (1). C. 91–97 . (In Russ.).

17. Cheong S., Riodzha R. D., Magn'jusen P.E. ,Janar Кю ,Mui D.K.,Venema G.B., Lljuehllin E. (2013). Recrsytallised aluminium alloys with brass texture and methods of their production. Pat. 2010117372/02. Russian Federation, published on 10.09.2013. Bull. No. 25. (In Russ.).

18. Valiev R.Z., Cenev N.K., Kaibyshev O.A., Myshlyaev.M.M. (1990) Influence of grain border structure on the development of mechanisms of superplastic deformation of aluminum alloys. *Metallurgy*. (10). 191-196. (In Russ.).

Information about the authors

E. A. Nosova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Technologies of Metals and Aviation Materials Science» of the S.P.Korolev Samara National Research University.

V. A. Razzivin - engineer of the department «Processing of metals by pressure» of the S.P.Korolev Samara National Research University.

A. A. Kuzina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Technologies of Metals and Aviation Materials Science» of the S.P.Korolev Samara National Research University.

A. V. Tribunsky - Engineer of the Department of «Technologies of Metals and Aeronautical Science» of the S.P.Korolev Samara National Research University.

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 191–199.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 191–199.

CC BY

Научная статья
2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 628.3
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.028
EDN: HVUEQU

АНАЛИЗ ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Евгений Николаевич Неверов [1], Екатерина Сергеевна Михайлова [2], Ирина Вадимовна Тимощук [3], Роман Юрьевич Схаплок [4]

[1, 2, 3, 4, 5] Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
[1] neverov42@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3542-786X
[2] e_s_mihaylova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0673-0747
[3] irina190978@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1349-2812
[4] sibur-roma@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9019-5002

Аннотация. *С увеличением требований к соблюдению экологических норм и ростом объемов угольной добычи сегодня становится очевидно, что проблема утилизации угольных отходов приобретает всё более критический характер. Этот контекст требует разработки инновационных решений и их интеграции в существующие технологии для эффективного управления угольными отходами. В представленной статье рассмотрена не только классификация методов обработки сточных вод горной и угольной промышленности, но и предложен проект мобильной установки для очистки сточных вод данных предприятий. Определены основные технические аспекты данной установки, включая ее ключевые элементы, схему взаимодействия между ними, а также предложены технологические решения и возможные варианты работы. Внедрение такой установки в угольной промышленности не только позволит положительно оценить процессы очистки сточных вод, но и предоставит возможность рассмотреть меры по оптимизации использования ресурсов и снижению негативного влияния на биосферу.*

Ключевые слова: *угольные отходы, сточные воды, физико-химическая очистка, экологические стандарты, водоочистные сооружения, инновационные разработки.*

Благодарности: *Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № соглашения 075-15–2022- 1201 от 30.09.2022 г.*

Для цитирования: Анализ проекта мобильной установки физико-химической очистки сточных вод угольных предприятий / Е. Н. Неверов [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 191 – 199. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.028, EDN: https://elibrary.ru/HVUEQU.

Original article

ANALYSIS OF THE PROJECT OF A MOBILE INSTALLATION OF PHYSICO-CHEMICAL WASTEWATER TREATMENT OF COAL ENTERPRISES

Evgeny N. Neverov [1], Ekaterina S. Mikhaylova [2], Irina V. Timoshchuk [3], Roman Yu. Skhaplok [4]

[1, 2, 3, 4] Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
[1] neverov42@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3542-786X
[2] e_s_mihaylova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0673-0747,
[3] irina190978@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1349-2812

© Неверов Е. Н., Михайлова Е. С., Тимощук И. В., Схаплок Р. Ю., 2024

[4] sibur-roma@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9019-5002

Abstarct*. With the increasing requirements for compliance with environmental standards and the growth of coal mining, it is now becoming obvious that the problem of coal waste disposal is becoming more and more critical. This context requires the development of innovative solutions and their integration into existing technologies for effective management of coal waste. In the presented article, not only the classification of wastewater treatment methods in the mining and coal industries is considered, but also a project for a mobile wastewater treatment plant for these enterprises is proposed. The main technical aspects of this installation are defined, including its key elements, the scheme of interaction between them, as well as technological solutions and possible work options are proposed. The introduction of such an installation in the coal industry will not only allow a positive assessment of wastewater treatment processes, but also provide an opportunity to consider measures to optimize the use of resources and reduce the negative impact on the biosphere.*

Keywords: *coal waste, wastewater, physico-chemical treatment, environmental standards, water treatment plants, innovative developments.*

Acknowledgements *The research was carried out within the framework of a comprehensive scientific and technical program of a full innovation cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment and risks to the life of the population", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 05/11/2022 No.1144-r, with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Agreement No. 075-15-2022- 1201 dated 30.09.2022.*

For citation: E. N. Neverov, E. S. Mikhaylova, I. V. Timoshchuk, R. Yu. Skhaplok (2024). Analysis of the project of a mobile installation of physico-chemical wastewater treatment of coal enterprises. *Polzunovskiy vestnik.* (3), 191-199. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.028. EDN: https://elibrary.ru/HVUEQU.

ВВЕДЕНИЕ

Угольная промышленность является значимым сектором экономики, который объединяет множество различных видов предприятий, начиная от горнодобывающих шахт и завершая перерабатывающими фабриками и предприятиями машиностроения. Шахты и разрезы занимаются добычей угольных пластов, в то время как обогатительные и брикетные фабрики осуществляют переработку сырья в конечные продукты. Машиностроительные и ремонтные заводы обеспечивают необходимое оборудование и услуги для поддержания работы угольных предприятий, а предприятия стройиндустрии и промышленного транспорта обеспечивают инфраструктуру и транспортные решения для перевозки и обработки угля.

В процессе своей деятельности каждое из угольных предприятий вырабатывает значительные объемы сточных вод, обладающих различным химическим составом и физико-химическими свойствами. Состав этих сточных вод зависит в значительной степени от характеристик добываемого и перерабатываемого угля, а также от применяемых технологических процессов и методов очистки.

Процесс добычи угля часто сопровождается откачкой воды из горных выработок для обеспечения безопасности и эффективности горных работ. На некоторых месторождениях с высоким уровнем водообильности используются методы предварительного осушения для создания благоприятных условий угледобычи. Вода, откачиваемая с месторождений и поступающая на угольные предприятия, обычно рассматривается как сточная, поскольку она подвергается загрязнению при контакте с угольными пластами и промышленными процессами.

Данные откачиваемые сточные воды, хотя и имеют естественное происхождение, однако могут значительно отличаться по составу от природных водных источников из-за воздействия угольной деятельности. При добавлении химических реагентов, которые используются для выщелачивания, вымывания минеральных компонентов из горных пород, при процессах обогащения угля, наблюдается изменение химического состава воды.

Следовательно, эффективное управление сточными водами в угледобывающей промышленности требует разработки и внедрения прогрессивных технологий деконтаминации, способных удалять разнообразные загрязнения и обеспечивать соответствие строгим экологическим стандартам.

Цель работы заключается в исследовании и рекомендации к использованию эффективной технологии обработки сточных вод угольных предприятий с использованием мобильной установки, в том числе анализе основных технических аспектов установки, а также в оценке потенциала данного технологического решения для оптимизации использования ресурсов и снижения негативного влияния на биосферу в угольной индустрии.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Сточные воды горнодобывающей промышленности дифференцируют на следующие категории (рисунок 1).

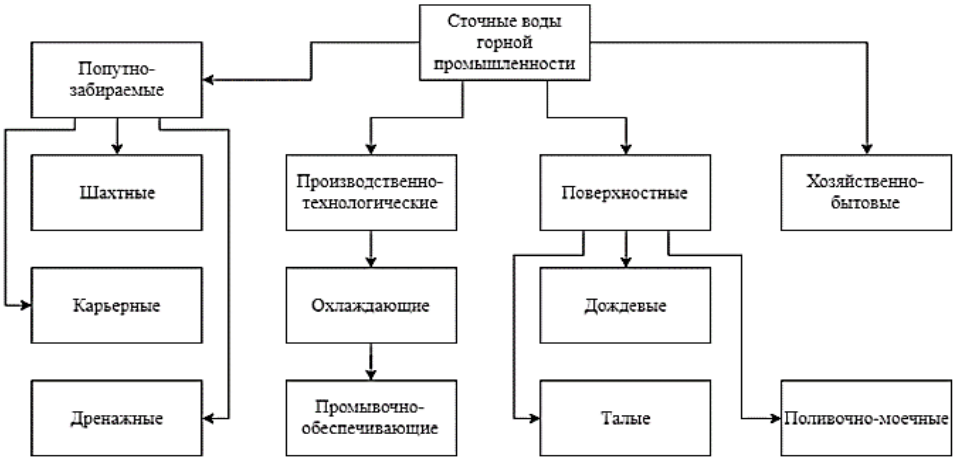


Рисунок 1 – Категории сточных вод горнодобывающей индустрии

Figure 1 – Categories of wastewater from the mining industry

К поверхностным сточным водам относят дождевые, талые и поливочно-моечные. Дождевые стоки формируются атмосферными осадками - дождями, стекающими с территории промышленных площадок. Талые – при таянии снега или льда. Поливочно-моечные стоки образуются при поливе территории с целью обеспыливания, санитарной уборки, орошения зеленых насаждений. Все виды поверхностных сточных вод загрязнены в той или иной степени и нуждаются в деконтаминации.

Производственно - технологические воды являются рабочей средой в технологических процессах. К таким технологическим процессам относят: мокрое обогащение углей и сланцев, гидродобычу, гидротранспорт, гидрозолоудаление, гальванические процессы в машиностроении и т.д. Охлаждающие воды образуются при охлаждении машин и аппаратов (кондиционеров, компрессоров, дегазационных установок), а также деталей машин при термообработке и т.д. Эти воды в основном имеют так называемые "температурные" загрязнения, их иначе называют "условно чистые". Они нуждаются в охлаждении и могут повторно использоваться в процессах. Промывочно-обеспыливающие воды формируются в результате промывки деталей и узлов машин на ремонтных заводах и мастерских, продувки котлоагрегатов, а также для удаления пыли на предприятиях. Все производственно–технологические сточные воды при их использовании и сбросе в водоемы требуют предварительной очистки.

Попутно забираемые сточные воды включают шахтные, карьерные и дренажные. Шахтные воды образуются в результате фильтрации подземных и поверхностных вод в подземные горные выработки. Проходя горные выработки, вода подвергается различного рода загрязнениям. Такая вода не может быть сброшена в водоемы без очистки и использована для технического водоснабжения без соответствующей обработки. Карьерные воды образуются за счет поверхностных, а также подземных вод. Попавшая вода в горные выработки, подобно шахтной, загрязняется и должна подвергаться деконтаминации перед сбросом в водотоки или техническим водоснабжением. Дренажные воды формируются из поверхностных и подземных вод откачиваются на поверхность через дренажные горные выработки или сооружения с целью осушения шахтных или карьерных полей. Дренажные воды не имеют контакта с загрязняющими их объектами горнодобывающего производства и поэтому могут быть использованы в хозяйственно-бытовом и техническом водоснабжении как с деконтаминацией, так и без нее.

Хозяйственно - бытовые сточные воды образуются при работе санузлов, прачечных, от автомойки. Данные сточные воды также, как и выше рассмотренные, загрязнены и нуждаются в очистке.

Шахтные воды отличаются большим разнообразием химического состава, что вызывает необходимость их дифференциации по химическому составу для упрощения оценки питьевых, технических и ирригационных качеств, а также свойств, оказывающих отрицательное влияние на поверхностные и подземные водные источники. Известно, что суммарное содержание растворенных солей в шахтных водах находится в значительных пределах от 500 до 100 000 мг/л и выше.

Однако при анализе шахтных вод наиболее значимой и широко применяемой является следующая классификация, учитывающая уровень минерализации и особенности воды в контексте горных работ и промышленных процессов.

Дифференциация сточных вод по степени минерализации включает:

– рассолы - содержат более 50 грамм солей на литр;

– сильносоленые воды - содержат от 25 до 50 грамм солей на литр;

– соленые воды: содержат от 10 до 25 грамм солей на литр;

– сильносолоноватые воды - содержат от 5 до 10 грамм солей на литр;

– солоноватые воды - содержат от 3 до 5 грамм солей на литр;

– слабосолоноватые воды - содержат от 1 до 3 грамм солей на литр;

– пресные воды - содержат менее 1 грамма солей на литр.

Шахтные воды разделяются на три характерных вида исходя из их состава (рис. 2):



Рисунок 2 – Классификация шахтных вод
Figure 2 – Classification of mine waters

Степень кислотности шахтных вод определяется наличием свободной серной кислоты и выражается через концентрацию ионов водорода (pH). Около 10 % шахтных вод относят к кислым, в том числе 2,5 % с минерализацией более 3 г/л и 6,0 % с минерализацией более 5 г/л. В целом около 50 % шахтных вод характеризуются минерализацией более 1 г/л.

Наличие кислых шахтных вод показывает, что нельзя отождествлять подземные и шахтные воды. Кислых подземных вод в районе угольных месторождений не существует, в то время как кислые шахтные воды образуются преимущественно в старых в выработках вследствие окисления сульфидов серы (в виде пирита) под действием воды и кислорода воздуха. Они обычно содержат бурую взвешенную муть - окись и закись железа.

Шахтные воды отличаются большим разнообразием химического состава, непригодны для питья и обладают свойствами, исключающими их использование в технических целях без предварительной обработки.

Карьерные воды образуются при открытой выемке угля, а в их формировании участвуют поверхностные стоки, поверхностные водоемы и водотоки, а также подземные воды. В период весенних и осенних паводков при достаточно больших площадях водосбора превалирующее значение имеют поверхностные стоки, а в сухие периоды года - подземные воды.

При добыче угля открытым способом часто используют взрывные работы, которые в условиях обводненности вскрышных пород не только усложняются и удорожаются, но и оказывают существенное влияние на качество карьерных вод.

В настоящее время объемы взрывания обводнённых пород достигают 35 % от общего количества вскрыши, что в объеме аммиачно-селитренных взрывчатых веществ составляет до 3,5 тыс. тонн в год, которые при растворении в обводненных условиях разрезов оказывают влияние на контаминацию подземных вод азотистыми соединениями. У карьерных вод относительно шахтных вод минимальные различия по составу и показателям загрязнения, к исключению относится показатель кислотности pH.

Основные загрязнения сточных вод угольных предприятий можно разделить на три группы:

1. «Органические загрязнения», которые выражены показателями: БПКполн, нефтепродукты, фенол.

2. «Металлы»: железо, цинк, хром, марганец, кальций, магний.

3. «Соли»: нитраты, нитриты, фосфаты, сульфаты, хлориды.

Загрязнители 1-й и 2-й группы хорошо удаляются из сточных вод методами коагуляции, флотации и сорбции. Загрязнители 3-й группы не коагулируются, за исключением фосфатов, и, соответственно, могут быть удалены только с использованием технологии обратного осмоса.

Таким образом, в состав пилотной установки для очистки сточных вод угледобывающей промышленности должны входить этапы реагентной обработки, флотации, сорбции и обратного осмоса.

На основе анализа состава сточных вод была разработана технологическая схема пилотной установки физико-химической очистки (ФХО) сточных вод угольных предприятий (рис. 3).

Сточная вода поступает в гидроциклон, который позволяет произвести очистку воды от механических примесей защищая насосную станцию первого подъёма от увеличенного износа всей системы.

Сточная вода накапливается в емкости объёмом 1,5 м^3 (поз. П1), которая обеспечивает

равномерную подачу сточных вод на установку физико-химической очистки. Накопительная емкость (поз. П1), оборудована гидростатическим датчиком уровня, который включает/отключает насос первого подъема (поз. П2), при достижении определенного уровня сточных вод, задаваемого со щита управления.

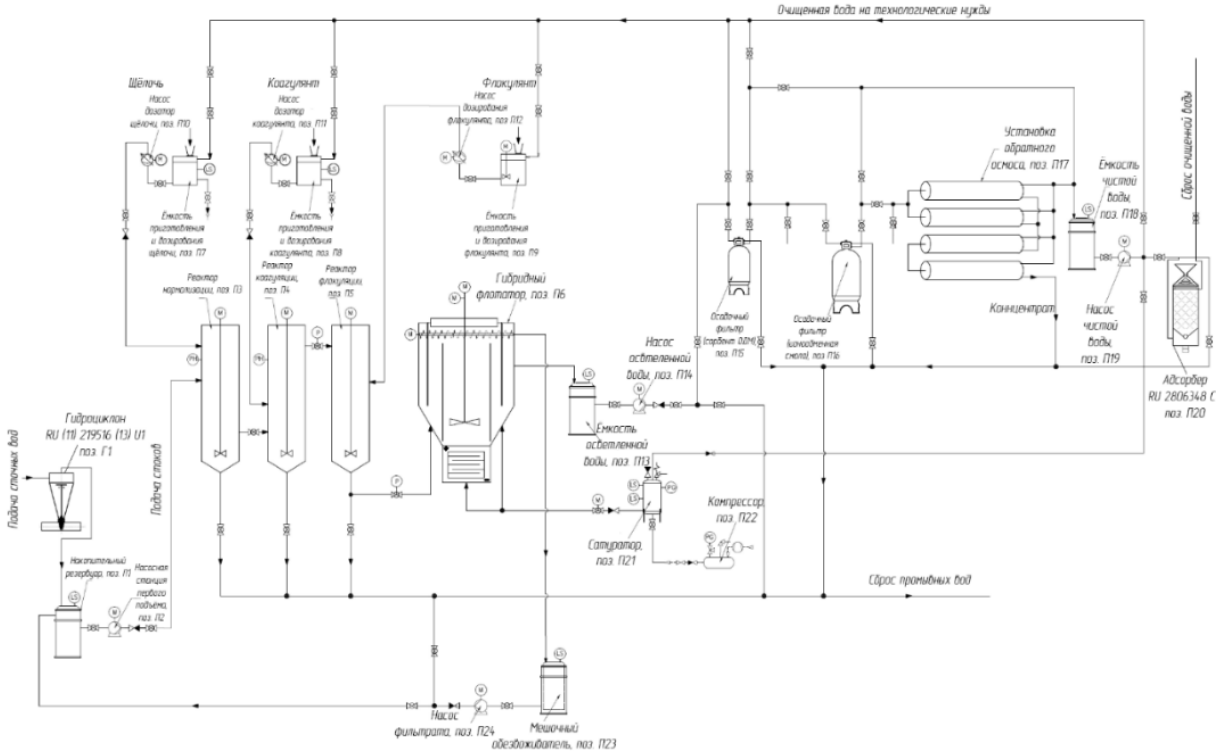


Рисунок 3 – Технологическая схема пилотной установки физико-химической очистки сточных вод угольных предприятий

Figure 3 – Technological scheme of a pilot plant for physico-chemical wastewater treatment of coal enterprises

Далее сточные воды подаются в реактор гидратообразования (поз. П10), оборудованный насосом дозатором (поз. П10), и датчиком pH. В реактор автоматически дозируется гидроксид натрия из емкости приготовления раствора (поз. П7), оборудованной ультразвуковым датчиком уровня.

При введении щелочи достигается оптимальное значение pH для удаления тяжелых металлов, образуются нерастворимые гидроксиды.

Значения pH гидратообразования металлов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения pH осаждения гидроксидов металлов

Table 1 – pH values of metal hydroxide deposition

Вид катиона	Значения pH	
	начало осаждения	полное осаждение
Цинк Zn^{2+}	6,4	9,3
Медь Cu^{2+}	5,5	9,5
Железо Fe^{3+}	2,3	4,1

Далее сточные воды самотеком поступают в реактор коагуляции (поз. П4), оборудованный насосом дозатором (поз. П11), и датчиком pH. В реактор автоматически дозируется коагулянт.

Используя соли алюминия в качестве коагулянта, в результате реакции гидролиза образуется гидроксид с малой растворимостью, молекулы гидроксида алюминия укрупняются в частицы аморфной фазы в результате агрегации, которые адсорбируют разные вещества, такие как коллоидные, мелкодисперсные и взвешенные, в результате формируется осадок.

Далее сточные воды самотеком поступают в реактор флокуляции (поз. П5), оборудованный насосом дозатором (поз. П12), и датчиком pH. В реактор автоматически дозируется флокулянт. Добавление флокулянта способствует повышению плотности и прочности образующихся хлопьев.

Далее обработанная вода поступает во флотатор (поз. П6), оборудованный электрохимическим реактором и сатуратором (поз. П21).

Электрохимический реактор обеспечивает образование газонасыщенных флоккул, которые самостоятельно поднимаются на поверхность в виде шламового слоя.

Шлам удаляется с помощью скребкового механизма и направляется в мешочный обезвоживатель (поз. П23), оборудованный насосом сухой установки (поз. П24), для возврата фильтрата в накопительную емкость (поз. П1).

Далее условно чистая вода накапливается в емкости осветленной воды (поз. П13), объе-

мом 120 литров, которая оборудована двумя поплавковыми датчиками уровня.

После наполнения емкости по датчику уровня включается центробежный насос, который направляет осветленную воду на блок фильтрации и сорбции.

Блок состоит из четырех ступеней фильтрации:

1. Колонна с сорбционной загрузкой (поз. П15);
2. Колонна с ионообменной смолой (поз. П16);
3. Адсорбер (патент RU 2806348 C1) (поз. П20);
4. Установка обратного осмоса (поз. П17).



Рисунок 4 – Пилотная установка ФХО

Figure 4– Pilot installation of the FCO



Рисунок 5 – Пилотная установка ФХО

Figure 5 – Pilot installation of the FCO

Проведение опытно-промышленных испытаний на реальном стоке позволяют получить все необходимые данные о работе очистных сооружений предприятия до того, как они будут построены и, самое главное, нивелировать риск того, что промышленное оборудование локальных очистных сооружений не сможет обеспечить требуемую степень очистки.

Контейнер также оборудован системами освещения, отопления и вентиляции. Вид внутреннего устройства представлен на рис. 3 и 4 «Пилотная установка ФХО».

Пилотная установка размещается в утепленном 20-футовом контейнере, что позволяет проводить испытания практически в любые погодные условия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения предельного значения снижения концентраций загрязняющих веществ после всех ступеней физико-химической очистки, имеется возможность после каждой ступени очистки отбирать пробы, а конкретнее:

- После реагентной обработки и флотации (позиции П3, П4, П5 и П6);
- После фильтрации на сорбенте ОДМ-2Ф (поз. П15);
- После ионного обмена на катионообменной смоле (поз. П16);
- После обратного осмоса (поз. П17);
- После адсорбера (поз. П20).

В состав установки входят ступени фильтрации и сорбции, которые требуют периодическую промывку, вследствие чего образуются промывные воды. Таким образом, с целью оценки возможности возврата промывных вод в голову процесса, испытания можно разделить на 2 этапа:

1. без возврата промывных вод в голову процесса;
2. с возвратом промывных вод в голову процесса;

В процессе исследования определены ориентировочные операционные издержки на очистку 1 м^3 сточных вод при различных технологических схемах.

1. Концентрации и доза рабочих растворов реагентов определены в ходе лабораторных испытаний:

- 2 % раствор гидроксида натрия NaOH: 0,12 л/м^3;
- 2 % раствор коагулянта UltraPAC 30-V-2: 1 л/м^3;
- 0,1 % раствор флокулянта Zetag 4125: 0,3 л/м^3;

2. Объемы сорбента и активного угля для осадочных фильтров рассчитаны из условия производительности оборудования 1000 м^3 в сутки или 42 м^3 в час:

– объем сорбента ОДМ-2Ф 3000 литров, что в денежном выражении составляет 150 тыс. руб., периодичность замены 1 раз в 3 года;

– объем активного угля 3000 литров, что в денежном выражении составляет 750 тыс. руб., периодичность замены 1 раз в 3 года;

Рассчитаем объем очищенной воды за 3 года:

$$1000\ м^3/сутки \times 365\ суток \times 3\ года = 1\ 095\ 000\ м^3$$

Рассчитаем удельные эксплуатационные расходы на замену сорбента и угля:

– сорбент ОДМ-2Ф: 0,14 руб./м^3;

– активный уголь: 0,68 руб./м^3.

3. Стоимость замены мембран обратного осмоса на установке производительностью 1000 м^3 в сутки или 42 м^3 в час составляет 6 120 000 руб., периодичность замены 1 раз в 3 года.

Таким образом, удельные эксплуатационные расходы на замену мембран обратного осмоса составят 5,6 руб./м^3.

Общий расход реагентов и удельные затраты на 1 м^3 очищенной воды приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расход реагентов

Table 2 – Reagent consumption

Расходные материалы	Щелочь NaOH	Коагулянт UltraPAC	Флокулянт Zetag 4125	Сорбент ОДМ-2Ф	Уголь	Мембраны
на 1 л	2,4 мг	20 мг	0,3 мг	-	-	-
на м^3	2,4 г	20 г	0,3 г	-	-	-
на 1000 м^3	2,4 кг	20 кг	0,3 кг	-	-	-
стоимость за 1 кг	380 руб./кг	200 руб./кг	314 руб./кг	42 руб./л	220 руб./л	-
удельная стоимость на м^3	0,92 руб./м^3	4 руб./м^3	0,1 руб./м^3	0,14 руб./м^3	0,68 руб./м^3	5,6 руб./м^3

Предусматриваемый уровень автоматизации позволяет эксплуатировать очистные сооружения с минимальным использованием ручного труда обслуживающего персонала. Штатная численность персонала очистных сооружений принята на основании нормативов численности рабочих по обслуживанию единицы оборудования. Фактическая численность персонала определяется с учетом сложившихся конкретных условий эксплуатации установки по очистке сточных вод. Диспетчерский пункт располагается на территории предприятия.

Максимальное необходимое количество персонала для обслуживания площадки очистных сооружений в соответствии с группой санитарной характеристики производственного процесса является 6 человек со следующими должностями: эколог (1 чел.), оператор ОС, слесарь АВР (аварийно–восстановительных работ) / электромонтер – 1 чел. со 2 гр. допуска по электробезопасности.

Были произведены расчеты удельных электрических нагрузок пилотной установки.

Таблица 3 – Электрические нагрузки

Table 3 – Electrical loads

№	Наименование потребителей	Установленная мощность	Коэффициент спроса	Расчетная мощность
		Ру, кВт	Кс	Рр=Ру*Кс, кВт
1	pH-метр стационарный МАРК- 902А/1	0,01	1,0	0,01
2	Насос-дозатор VMS MF 0215 FP 230VAC	0,013	1,0	0,013
3	Насос-дозатор VMS MF 0215 FP 230VAC	0,013	1,0	0,013
4	Насос-дозатор VCO 0116 FP 230VAC	0,013	1,0	0,013
5	Насос-дозатор VCO 0116 FP 230VAC	0,013	1,0	0,013
6	Мотор-редуктор NMRW 030-54- FA1-0.18-B3	0,18	1,0	0
7	Мотор-редуктор NMRW 030-54- FA1-0.18-B3	0,18	1,0	0,18
8	Мотор-редуктор NMRW 030-54- FA1-0.18-B3	0,18	1,0	0,18
9	Мотор-редуктор DRW 030/063-900- 1.5-FA1-0.12-AS1 (f.s.=0.9)	0,12	0,3	0,18
10	Мотор-редуктор NMRW 030-23-FA1-0.06-B3	0,06	1,0	0,036
11	Мотор-редуктор NMRW 040-57- FA1-0.25-B3	0,25	0,3	0,06
12	Выпрямитель UNIV-50A/12B (электронный реверс, интерфейс RS-485)	0,12	1,0	0,075
13	Насос CDM1-7FSWPC	0,37	0,3	0,12
14	Насос CHLF2-40LSWSC	0,55	0,3	0,111
15	Насос CHLF2-40LSWSC	0,55	0,3	0,165
16	Насос CHLF2	1,1	1	1,1
17	Насос PK 60 41PNK60A	0,37	0,3	0,165
Всего		4,092	0,75	2,545

Средняя стоимость электроэнергии, согласно предоставленным данным, составляет 5,5 руб./кВт*ч с НДС.

Общие затраты электроэнергии на очистку 1 м^3 технической воды с учетом коэффициента спроса составят 2,55 кВт/м^3.

Удельные затраты на электроэнергию составят: 14 руб./м^3 или 14 000 руб. в сутки или 5 110 000 руб./год при производительности локальных очистных сооружений 1000 м^3 в сутки.

Себестоимость очистки 1 м^3 сточной воды складывается из суммарных затрат на расходные материалы, электроэнергию и оплату труда персонала станции физико-химической очистки сточных вод угольных предприятий и составляет: 10,76 руб./м^3 + 8,5 руб./м^3 + 14 руб./м^3 = 33,3руб./м^3 в сутки при производительности локальных очистных сооружений 1000 м^3 в сутки. Общие эксплуатационные затраты на обработку сточной воды, при средней производительности локальных очистных сооружений 1000 м^3/сутки составят 33 300,00 руб /сут. или 12 154 500,00 руб/год.

Себестоимость очистки 1 м^3 сточной воды может быть снижена за счет применения оптимальной схемы очистки воды: рекомендовано блок обратного осмоса консервировать, данная ступень очистки может быть активирована при залповых максимальных концентрациях и проскоке загрязняющих веществ. Основная очистка и удаление большей части контаминантов производится на стадии физико-химической очистки и фильтрации. Однако, без ступени обратного осмоса невозможно достигнуть требуемой степени очистки сточных вод от солей (сульфатов, хлоридов, нитратов, нитритов, фосфатов) в соответствии с нормами ПДК.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная технологическая схема позволяет достичь снижения содержания контаминантов в стоках ниже норм ПДК, и может быть оптимизирована использованием ступеней очистки выборочно с учетом сезонности и состава сточных вод исследуемого объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неверов, Е. Н. Анализ современных методов и технологий промышленной водоочистки / Е. Н. Неверов, А. К. Горелкина, Р. Ю. Схаплок // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 215-225. DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.30.

2. Гидроциклон повышенной эффективности: пат. 219222. Рос. Федерация № 2023105915 ; заявл. 14.03.2023; опубл. 05.07.2023, Бюл. № 19.

3. Малолетнев, А. С. Получение из углеотходов подмосковного угольного бассейна коагулянта для очистки воды / А. С. Малолетнев, Л. А. Зекель, Н. В. Краснобаева, М. Я. Шпирт, К. И. Наумов. И. М. Шведов // Химия твёрдого топлива. 2010. №6. С. 17–21.

4. Неверов, Е.Н. Проект установки для очистки шахтных вод угольного разреза / Е.Н. Неверов, А.К. Горелкина, Е.С. Михайлова, И.В. Тимощук, Р.Ю. Схаплок // Ползуновский вестник. 2024. № 1. С. 169-178. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.020.

5. Очистка сточных вод угледобывающих предприятий / А. К. Горелкина, Е. С. Михайлова, И. В. Тимощук, Л.А. Иванова, Е.Н. Неверов // Уголь. – 2023. № S12(1175). С. 63-66. DOI 10.18796/0041-5790-2023-S12-63-66.

6. Ростовинская В.С. Изучение методов очистки сточных вод // Трибуна ученого. 2020. № 7. С. 78–84.

7. Иванов Д. Б. Методы очистки нефтесодержащих сточных вод // Наукосфера. 2021. № 7-1. С. 175-180.

8. Бузин И.С. Современные методы очистки сточных вод // MSULab. URL : https://www.msulab.ru/knowledge/water/sovremennye-metody-ochistki-stochnykh-vod/ (дата обращения: 22.04.2024).

9. Горелкина А.К. Серосодержащие загрязнители и способы снижения их концентрации / А.К. Горелкина, И.В. Тимощук, Е.Н. Неверов, Н.С. Голубева, Л.А. Иванова// Ползуновский вестник. – 2023. № 4. С. 244-248. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.031.

10.Очистка хозяйственно-бытовых сточных вод на компактных установках / Ф.А. Афанасьева, А.П. Иванов, А.Е. Ловцов // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 11. С. 34–39.

Информация об авторах

Е. Н. Неверов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности Кемеровского государственного университета.

Е. С. Михайлова кандидат химических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, директор Института НБИКС технологий Кемеровского государственного университета.

И. В. Тимощук – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности Кемеровского государственного университета.

Р. Ю. Схаплок – магистрант, лаборант-исследователь "Молодежной лаборатории фундаментальных исследований физико-химических методов очистки воды" Кемеровского государственного университета.

REFERENCES

1. Neverov, E.N., Gorelkina, A.K., & Skhaplok, R.Yu. (2023). Analysis of modern methods and technologies of industrial water treatment. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 215-225. (In Russ.). DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.30.

2. High-efficiency hydrocyclone: pat. 219222.

Ros. Federation No. 2023105915 ; application no. 03/14/2023; publ. 07/05/2023, Bul. no. 19.

3. Maloletnev, A.S., Zekel', L.A., Krasnobaeva, N.V., Shpirt, M.Y., Naumov, K.I., & Shvedov, I.M. (2010). Preparation of a coagulant for water treatment from waste coal from the moscow coal basin. *Solid fuel chemistry*, 44(6). 382-386. (In Russ.).

4. Neverov, E.N., Gorelkina, A.K., Mikhailova, E.S., Tymoshchuk, I.V., & Shaplok, R.Yu. (2024). The project of an installation for cleaning mine waters of a coal mine. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 169-178. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.020.

5. Gorelkina, A.K., Mikhaylova, E.S., Tymoshchuk, I.V., Ivanova, L.A., & Neverov, E.N. (2023). Wastewater treatment of coal mining enterprises. *Ugol*, S12(1175). 63-66 (In Russ.). DOI 10.18796/0041-5790-2023-S12-63-66.

6. Rostvinskaya, V.L. (2020). Study of wastewater treatment methods. *Tribune of the scientist*, (7), 78–84. (In Russ.).

7. Ivanov, D.B., & Uraleva, A.I. (2021). Methods of purification of oily wastewater. *Naukosfera*, (7-1). 175-180. (In Russ.).

8. Buzin, I.S. (2022). Sovremennyye metody ochistki stochnykh vod. Retrieved from https://www.msulab.ru/knowledge/water/sovremennye-metody-ochistki-stochnykh-vod/ (In Russ.).

9. Gorelkina, A.K., Timoshchuk, I.V., Neverov, E.N., Golubeva, N.S. & Ivanova, L.A. (2023). Sulfur-containing pollutants and ways to reduce their concentration. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 244-248. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.031.

10. Afanasieva, A.F., Ivanov, A.P., & Lovtsov, A.E. (2003). Purification of domestic wastewater in compact installations. *Water supply and sanitary engineering.* (11), 34-39 (In Russ.).

Information about the authors

E. N. Neverov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety of Kemerovo State University.

E. S. Mikhaylova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Director of the Institute of NBICS Technologies of Kemerovo State University.

I. V. Timoshchuk – is a Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety at Kemerovo State University.

R. Yu. Skhaplok – Master's student, laboratory researcher at the Youth Laboratory for Fundamental Research of Physical and Chemical Methods of Water Purification at Kemerovo State University.

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

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 15 Feb 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 200–205.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 200–205.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 691.175.2
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.029 EDN: GVFQJE

КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЪЕМНЫХ ЧЕХЛОВ С ЦЕЛЬЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Гульнара Ильхамовна Амерханова [1], Елена Анатольевна Кияненко [2], Любовь Андреевна Зенитова [3]

[1, 2, 3] Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия
[1] AmerkhanovaGI@corp.knrtu.ru
[2] KiyanenkoEA@corp.knrtu.ru
[3] ZenitovaLA@corp.knrtu.ru

Аннотация. *Проведено исследование возможности применения фибры базальтового волокна при получении образцов композитов на основе полужесткого пенополиуретана, направленное на повышение комплекса физико-механических параметров, а также термостабильности образцов. Наполнение проводили в массовом содержании от 5 до 15 %, размером волокон 6, 12 и 18 мм.*

При этом установлено, что такие технологические параметры, как время старта и подъема, а также кажущаяся плотность экспериментальных образцов полужесткого пенополиуретана возрастает. Оптимальное содержание фибры базальтового волокна является 10 % мас. с размером волокон не более 12 мм. Дальнейшее увеличение размера и содержания базальтового волокна приводит к технологическим сложностям.

Установлено, что при наполнении образца ППУ фиброй базальтового волокна наблюдается тенденция к увеличению прочностных свойств композита. При этом наибольшее увеличение достигнуто для образца, наполненного фиброй размером 6 мм в количестве 10 % мас. – напряжение сжатия при 10 %-ной деформации увеличилось на 30 % по сравнению с ненаполненным аналогом. Модуль упругости и эластичность образцов снижается незначительно, что не оказывает негативного влияния на материал.

Выявлено, что введение фибры базальтового волокна способствует повышению коэффициента теплопроводности, а также снижению скорости горения. Так, скорость горения для ненаполненного аналога составила 387 мм/мин, а при наполнении БВ размером 6 мм в количестве 15% мас. привело к снижению данного показателя до 92 мм/мин. Это свидетельствует о возможности применения базальтового волокна в качестве антипирирующей добавки в полимерах.

Ключевые слова: *Пенополиуретан, базальтовое волокно, фибра, теплоизоляционный материал, съемные чехлы, теплоизоляция оборудования и трубопроводов.*

Для цитирования: Амерханова Г. И., Кияненко Е. А., Зенитова Л. А. Композит на основе пенополиуретана и базальтового волокна для изготовления съемных чехлов с целью теплоизоляции оборудования // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 200– 205. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.029, EDN: https://elibrary.ru/GVFQJE.

Original article

COMPOSITE BASED ON POLYURETHANE FOAM AND BASALT FIBER FOR THE PRODUCTION OF REMOVABLE COVERS FOR THE PURPOSE OF THERMAL INSULATION OF EQUIPMENT

Gulnara I. Amerkhanova [1], Elena A. Kiyanenko [2], Lyubov A. Zenitova [3]

[1, 2, 3] Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
[1] AmerkhanovaGI@corp.knrtu.ru
[2] KiyanenkoEA@corp.knrtu.ru
[3] ZenitovaLA@corp.knrtu.ru

© Амерханова Г.И., Кияненко Е. А., Зенитова Л. А., 2024

КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЪЕМНЫХ ЧЕХЛОВ С ЦЕЛЬЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Abstarct. *A study was carried out on the possibility of using basalt fiber in the production of composite samples based on semi-rigid polyurethane foam, aimed at increasing the complex of physical and mechanical parameters, as well as the thermal stability of the samples. Filling was carried out in a mass content from 5 to 15 %, with fiber sizes of 6, 12 and 18 mm.*

At the same time, it was found that such technological parameters as start and rise times, as well as the apparent density of experimental samples of semi-rigid polyurethane foam increase. The optimal fiber content of basalt fiber is 10% wt. with a fiber size of no more than 12 mm. A further increase in the size and content of basalt fiber leads to technological difficulties.

It has been established that when a PU foam sample is filled with basalt fiber, there is a tendency to increase the strength properties of the composite. In this case, the greatest increase was achieved for a sample filled with 6 mm fiber in an amount of 10% wt. – compressive stress at 10% deformation increased by 30% compared to the unfilled analogue. The elastic modulus and elasticity of the samples decrease slightly, which does not have a negative effect on the material.

It was revealed that the introduction of basalt fiber helps to increase the thermal conductivity coefficient, as well as reduce the burning rate. Thus, the burning rate for the unfilled analogue was 387 mm/min, and when filled with 6 mm BB in an amount of 15 % wt. led to a decrease in this indicator to 92 mm/min. This indicates the possibility of using basalt fiber as an antipyretic additive in polymers.

Keywords: *Polyurethane foam, basalt fiber, fiber, thermal insulation material, removable covers, thermal insulation of equipment and pipelines.*

For citation: Amerkhanova G. I., Kiyanenko E. A., Zenitova L. A. (2024) Composite based on polyurethane foam and basalt fiber for the manufacture of removable covers for the purpose of thermal insulation of equipment. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 200-205. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.029. EDN: https://elibrary.ru/GVFQJE.

ВВЕДЕНИЕ

В нефтехимической промышленности применяются процессы, имеющие повышенные температуры. С целью исключения факторов взаимообмена тепла с атмосферой, а также возможных ожогов, необходимо использовать теплоизоляцию оборудования и трубопроводов. С этой целью можно использовать изделия из изоляционного материала на основе пенополиуретана, выполненные в виде съемных чехлов.

В качестве теплоизоляционного материала широко используется жесткий пенополиуретан (ППУ), характеризующийся высокими теплоизоляционными характеристиками [1, 2]. Но для использования его для изготовления быстросъемных чехлов он не подходит, поскольку имеет недостаточную гибкость, что может привести к разрушению материала при изоляции оборудования, имеющего различные формы. Для этих целей оптимальным является полужесткий пенополиуретан.

Известно, что химическая промышленность является одном из пожароопасных объектов, поэтому одним из важных факторов является минимизация рисков, способствующих или вызывающих горение материала [3]. Для повышения комплекса прочностных свойств, а также увеличения термостабильности, огнестойкости пенополиуретана в данной работе используется базальтовое волокно (БВ), характеризующееся повышенным комплексом прочностных свойств, имеющим широкий диапазон рабочих температур, высокую гидролитическую стойкость и др. [4].

Химическая структура БВ аналогична стекловолокну, при этом отличается более высокой прочностью, термо- и химической стойкостью. Его получают термохимическим процессом из вулканической базальтовой породы, диаметром от 10 до 20 мкм и длиной от 3 до 130 мм. [5].

В состав БВ входят такие соединения, как оксид кремния (SiO_2 – 44÷46 % мас.), оксид алюминия (Al_2O_3 – 11÷12 % мас., оксид кальция (CaO – 11÷12 % мас.), оксид магния (MgO – 9÷11 % мас.) и другие (менее 6 % мас.) На поверхности БВ имеются силанольные группы, связанные с водородом, образующие активные адсорбционные центры [6].

Необходимо отметить также, что прочностные характеристики (прочность при растяжении) базальтового волокна находится в сопоставляемых значениях с арамидным волокном, в то же время модуль упругости БВ выше стекловолокна.

Благодаря совокупности свойств базальтовое волокно широко применяется для изготовления высокопрочностных композиционных полимерных материалов, которые используются в качестве конструкционных материалов, которые имеют более низкую себестоимость по сравнению с арамидными материалами, углепластиком и сталью [7-9]. Область применения данных материалов достаточно большая – это автомобилестроение, авиастроение, судостроение, строительство и т.д. [10, 11]. БВ также используют для армирования бетонов, при этом улучшается их структура, а также комплекс физико-механических показателей [12].

В данной работе для получения высокопрочного, термостойкого и теплоизоляционного материала, предназначенного для изготовления быстросъемных чехлов оборудования, использовали полужесткий ППУ, наполненный базальтовым волокном.

МЕТОДЫ

Для получения полужесткого пенополиуретана использовали следующие компоненты:

- компонент А – полиэфирный компонент (смесь простых полиэфиров, катализаторов, стабилизаторов пенообразования и воды) SPECFLEX NF 675 производства «Дау Изолан», г.Владимир, Россия;

- компонент Б – полимерный дифенилметандиизоцианат (содержание NCO-групп в количестве 29,4÷30,8% мас.) производства «Дау Изолан», г.Владимир, Россия (ТУ 113-03-38-106-90).

Для получения композита на основе ППУ использовали базальтовое волокно производства ПАО «Новгородский стекольный завод» размером волокон 6, 12 ,18 мм.

Образцы готовили следующим образом: БВ в количестве от 10 до 15 % мас. по отношению к сумме компонентов А+Б порционно вводили в гидроксилсодержащий компонент А, после чего смесь тщательно перемешивали с помощью верхнеприводного перемешивающего устройства. После чего вводили расчетное количество компонента Б и снова перемешивали. Массовое соотношение компонента А к Б равно 1:0,6.

Полученную смесь сразу переливали в жестяную коробку размером 15×15×15 см, выложенную полиэтиленовой пленкой или бумагой, при этом фиксировали «время старта» и «время подъёма». Испытания полученных образцов на физико-механические показатели проводили по истечении трех суток [13, 14].

Основными технологическими характеристиками пенополиуретанов являются следующие:

- время старта – время от начала перемешивания смеси компонентов А и Б до начала вспенивания (четкого видимого увеличения объема смеси компонентов), с;

- время подъема – время от начала вспенивания до конца вспенивания, когда пена перестает расти, с;

- кажущаяся плотность при свободном вспенивании (ГОСТ 409-77 «Пластмассы ячеистые и резины губчатые»), кг/м3.

Напряжение сжатия при 10%-ной деформации (МПа) определяли по ГОСТ 23206-78 «Пластмассы ячеистые жесткие метод испытания на сжатие.

Теплопроводность (Вт/м·К) – по ГОСТ 23630.2-79 «Метод определения теплопроводности».

Коэффициент теплопроводности определяли в соответствии с ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме».

Огнестойкость определяли в соответствии с ГОСТ 28157-89 «Пластмассы. Методы определения стойкости к горению». Огнеопасность материала характеризуется скоростью и особенностями горения испытуемого образца материала.

Скорость горения (v) в мм/мин вычисляли по формуле:

v= 60 l/t, где:

l - длина сгоревшего участка образца в мм;

t - время горения образца на этом участке, с.

Подсчет значения скорости горения (v) проводили с точностью до 0,1 и округляли до целых единиц.

Материал огнеопасен: если он имеет скорость горения 100 мм/мин и более.

Материал не огнеопасен: если имеет скорость горения 100 мм/мин и менее, если не загорелся за 30 с от пламени горелки, если погас, не догорев до начала мерной базы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для изготовления образов на основе пенополиуретана использовали базальтовое волокно (фибру) размером 6, 12 и 18 мм. Экспериментальные образцы ППУ получали при содержании различных размеров БВ при их массовом содержании от 5,0 до 15,0 %. Первоначально полученные образцы исследовали на время старта, подъема и кажущуюся плотность (таблица 1). По результатам исследования выявлено, что с ростом величины волокна, а также степени наполнения увеличиваются все технологические параметры. Это связано с увеличением общей массы наполнителя БВ, которое способствует росту плотности материала.

При этом выявлено, что введение волокон размером 18 мм технологически затруднено из-за повышения вязкости материала.

Таблица 1 – Технологические параметры ППУ, наполненных фиброй БВ

Table 1 – Technological parameters of PUF filled with BV fiber

Параметры	Содержание БВ, % мас.									
	0	5			10			15		
	Размер БВ, мм									
	–	6	12	18	6	12	18	6	12	18
«Время старта», с	30	31	34	38	33	40	47	35	45	52
«Время подъема», с	86	90	98	100	95	110	114	100	120	125
Кажущаяся плотность, г/см^3	0,060	0,069	0,082	0,090	0,089	0,102	0,112	1,049	1,113	1,121

Далее проводили исследования экспериментальных образцов ППУ на комплекс физико-механических показателей (таблица 2). При оценке полученных результатов при наполнении ППУ БВ размером 6 мм выявлено, что с ростом количества наполнителя материал становится более прочным вплоть до 10 % мас. наполнения. При этом прочность на сжатие увеличилась в среднем на 25 %. При содержании БВ в количестве 15 % мас. прочность на сжатие несколько снижается, но остается на более высоком уровне по сравнению с ненаполненным аналогом.

Для ППУ, наполненных БВ с размером более 12 мм наблюдается та же тенденция, что и для образов, наполненных с БВ размером 6 мм, но значения прочности на сжатие несколько ниже – 0,50 МПа при наполнении в количестве 10 % мас. и 0,46 – при 15 % мас.

При наполнении ППУ БВ размером фибры 18 мм выявлено, что прочность на сжатие снизилась и максимальное значение достигнуто – 0,48 МПа при наполнении 10 % мас. Этот показатель на 7,7 % меньше, чем при наполнении ИБВ с размером 6 мм.

Параметры снижения прочностных характеристик образцов с наполнением волокнами размером 12 и 18 мм может быть связано с негативным влиянием на прочность материала в связи с нарушением структуры и возможным нарушением ПУ перегородок в материалах. Также можно отметить технологические сложности при введении в ППУ волокон более 12 мм.

Таблица 2 – Результаты физико-механических показателей ППУ, наполненных БВ

Table 2 – Results of physical and mechanical parameters of PU filled with BV

Параметры	Содержание БВ, % мас.									
	0	5			10			15		
	Размер БВ, мм									
	0	6	12	18	6	12	18	6	12	18
σ, МПа	0,39	0,44	0,43	0,42	0,52	0,5	0,48	0,48	0,46	0,44
E	5,5	5,3	5,4	5,5	5,2	5,3	5,4	5,0	5,1	5,3
Э, %	38	35	37	37	33	35	36	30	32	33

Примечание: Напряжение сжатия при 10%-ной деформации - σ, МПа; модуль упругости – Е; эластичность – Э, %.

Таким образом, при исследовании комплекса прочностных показателей выявлено, что лучшие показатели достигнуты для образцов ППУ, наполненных БВ с размером 6 мм в количестве 10 % мас.

На рисунке 1 представлена зависимость прочности на сжатие образцов ППУ от степени наполнения фиброй БВ.

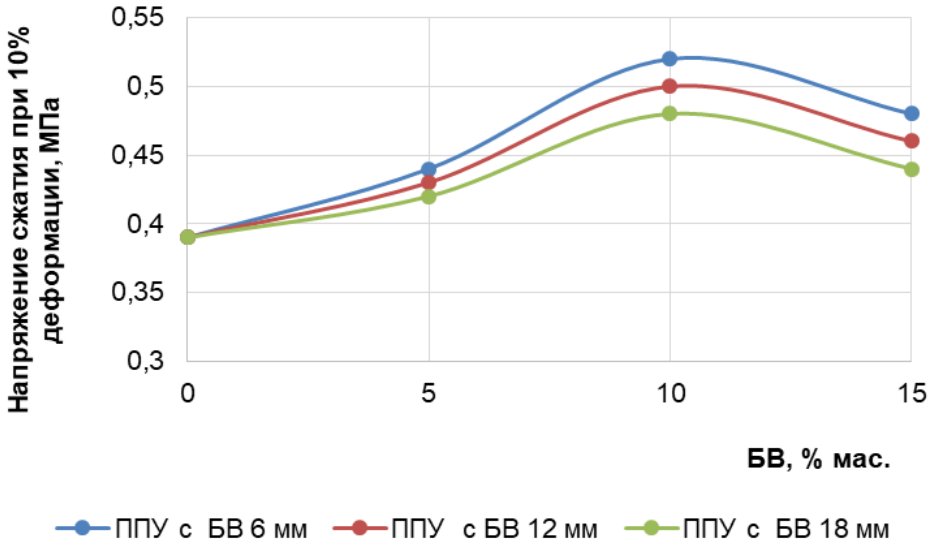


Рисунок 1 – Зависимость напряжения сжатия при 10%-ной деформации, (МПа) образцов ППУ, наполненных БВ (размером 6, 12 ,18 мм) в количестве до 15,0 % мас.

Figure 1 – Dependence of the compression stress at 10% deformation, (MPa) of PU foam samples filled with BV (size 6, 12, 18 mm) in an amount up to 15.0% by weight

Для теплоизоляционных материалов одним из важных показателей является воздухопроницаемость. На рисунке 2 приведена зависимость воздухопроницаемости образцов ППУ, от размера БВ, откуда видно, что использование наполнителя незначительно понижает воздухопроницаемость, что косвенно доказывает увеличение количества закрытых пор в образцах.

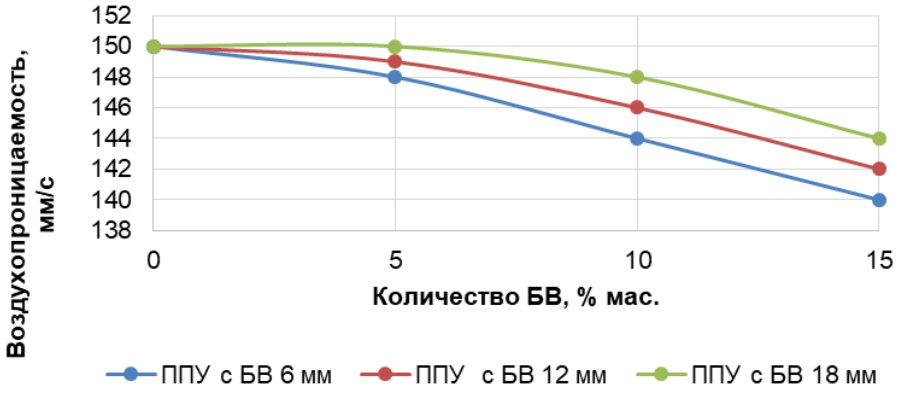


Рисунок 2 – Зависимость воздухопроницаемости образцов ППУ, наполненных БВ (размер 6, 12 ,18 мм) в количестве до 15,0 % мас.

Figure 2 – Dependence of the air permeability of PU foam samples filled with BV (size 6, 12, 18 mm) in an amount up to 15.0% by weight

Результаты исследований экспериментальных образцов ППУ, наполненных БВ размером от 6 до 18 мм на теплопроводность и горючесть приведены в таблице 3, из которой видно, что введение фибры БВ способствует незначительному росту коэффициента теплопроводности, а также снижению скорости горения.

При этом отмечена тенденция снижения скорости горения образцов при введении в композицию ППУ БВ размером 12 и 18 мм. Лучшие результаты достигнуты при введении 15 % мас. БВ размером 18 мм – снижение скорости горения на 9 % по сравнению с добавлением БВ размером 6 мм и составило 98 мм/с.

При сопоставлении показателей стойкости к горению ППУ, наполненного базальтовым волокном и добавкой антипиреном трихлорэтилфосфатом (ТХЭФ) выявлено, что коэффициент теплопроводности (Вт/м·К) находится практически на одном уровне. По скорости горения ППУ с БВ приближается также к образцу с ТХЭФ.

Таким образом, с помощью наполнения БВ можно добиться огнестойкости материала без внедрения дорогостоящих и вредных антипиренов.

Таблица 3 – Результаты теплопроводности и горючести образцов ППУ, наполненных БВ

Table 3 – Results of thermal conductivity and flammability of PU foam samples filled with BV

Параметры	Содержание БВ, % мас.										ТХЭФ, 10% мас.
	0	5			10			15			
	Размер БВ, мм										
	0	6	12	18	6	12	18	6	12	18	
$K_{тепл.}$	0,030	0,031	0,032	0,032	0,032	0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,031
$V_{гор.}$	385	310	220	218	96	104	112	92	96	98	78

Примечание: $К_{тепл}$ – коэффициент теплопроводности (Вт/м·К), $V_{гор.}$ – скорость горения (мм/мин).

ВЫВОДЫ

В результате проведения данной работы получены образцы полужесткого пенополиуретана, наполненного фиброй базальтового волокна размером 6, 12 и 18 мм, при ее массовом содержании от 5 до 15 %.

Выявлено, что образцы ППУ, наполненные БВ от 5 до 15 % мас., обладают высокими физико-механическими показателями и относительно высокой степенью защищенности от горения. Наилучшими показателями огнестойкости обладают образцы, наполненные БВ в количестве 15 % мас. Также по полученным исследованиям можно сделать вывод, что использование БВ в качестве наполнения целесообразнее, чем использование антипирена, так как в этом случае достигается основная цель – придание ППУ негорючести. При этом ППУ стал незначительно плотнее и несущественно потерял в теплоизолирующих свойствах. С другой стороны, увеличение плотности ППУ приводит к возрастанию прочностных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакирова И.Н., Зенитова Л.А. Газонаполненные полимеры: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан.гос.технол.ун-та, 2009. 105 с.

2. Зонненшайн М.Ф. Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение. Москва: ЦОП Профессия, 2018. 576 с.

3. Воробьев В.А., Андрианов Р.А., Ушков В.А. Горючесть полимерных строительных материалов. Москва: Стройиздат, 1978. 224 с.

4. Амерханова Г.И., Кияненко Е.А., Зенитова Л.А. Базальтовое волокно-наполнитель полиуретанов // Вестник Технологического университета. 2020. №8. С.24-29.

5. Оснос М.С., Оснос С.П. Базальтовые непрерывные волокна-основа для создания новых промышленных производств и широкого применения армирующих и композитных материалов // Композитный мир. 2019. №1. С.58-65.

6. Amerkhanova G.I., Kiyanenko E.A., Zenitova L.A. Basalt fiber and its application in polymer composite materials. Butlerov Communications A. 2021. Vol.2, No.3. P.10-15.

7. Амерханова Г.И., Зенитова Л.А., Хацринов А.И. Полиуретановые композиции, наполненные плазмообработанным базальтовым волокном // Вестник Технологического университета. 2020. Т.23, №12. С.38-42.

8. Тинь Н.К., Чалая Н.М., Осипчик В.С. Разработка полипропиленового композита, наполненного базальтовым волокном и стеклянными микросферами // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. 2020. Т.XXXIV, №7. С.105.

9. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. Санкт Петербург: Научные основы и технологии, 2008. 822 с.

10. Булатов Г.А. Пенополиуретаны в машиностроении и строительстве. Москва: Машиностроение, 1978. 184 с.

11. Воробьев В.А., Андрианов Р.А. Полимерные теплоизоляционные материалы. – Москва: Стройиздат. 1972. 320 с.

12. Амерханова Г.И., Хацринов А.И., Зенитова Л.А. Композиты на основе плазмообработанного базальтового волокна для высоконагруженных бетонных изделий // Бутлеровские сообщения. 2020. т.63, в.7. С. 60-65.

13. Клемпнер Д., Сенджаревич В. Полимерные пены и технологии вспенивания. Москва: ЦОП Профессия, 2009. 600 с.

14. Баур Э., Оссвальд Т.А., Рудольф Н. Настольная книга переработчика пластмасс. Справочник по полимерным материалам. Москва: ЦОП Профессия, 2021. 672 с.

Информация об авторах

Г. И. Амерханова – ассистент, ведущий инженер кафедры «Технологии неорганических веществ и материалов» Казанского национального исследовательского технологического университета.

Е. А. Кияненко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии синтетического каучука» Казанского национального исследовательского технологического университета.

Л. А. Зенитова – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии синтетического каучука» Казанского национального исследовательского технологического университета.

REFERENCES

1. Bakirova I.N. & Zenitova L.A. (2009). *Gas-filled polymers: Textbook*. Kazan: Publishing house of Kazan State Technical University. (In Russ.).

2. Sonnenschein M.F. (2018). *Polyurethanes. Composition, properties, production, application.* Moscow: TsOP Profession. (In Russ.).

3. Vorobyov V.A., Andrianov R.A. & Ushkov V.A. (1978). *Flammability of polymer building materials.* Moscow: Stroyizdat. (In Russ.).

4. Amerkhanova G.I., Kiyanenko E.A. & Zenitova L.A. (2020). Basalt fiber filler for polyurethanes. *Bulletin of the Technological University*, (8), 24–29. (In Russ.).

5. Osnos M.S. & Osnos S.P. (2019). Basalt continuous fibers are the basis for the creation of new industrial production and the widespread use of reinforcing and composite materials. *Composite World*, (1), 58–65. (In Russ.).

6. Amerkhanova G.I., Kiyanenko E.A. & Zenitova L.A. (2021). Basalt fiber and its application in polymer composite materials. *Butlerov Communications A,* (3), 10–15. (In Russ.).

7. Amerkhanova G.I., Zenitova L.A. & Khatsrinov A.I. (2020). Polyurethane compositions filled with plasma-treated basalt fiber. *Bulletin of the Technological University*, (12), 38–42. (In Russ.).

8. Tin N.K., Chalaya N.M. & Osipchik V.S. (2020). Development of a polypropylene composite filled with basalt fiber and glass microspheres. *Advances in chemistry and chemical technology: collection. Scientific*, (7), 105–105. (In Russ.).

9. Mikhailin Yu. A. (2008). *Structural polymer composite materials*. St. Petersburg: Scientific foundations and technologies. (In Russ.).

10. Bulatov G.A. (1978). *Polyurethane foams in mechanical engineering and construction.* Moscow: Mechanical Engineering. (In Russ.).

11. Vorobyov V.A. & Andrianov R.A. (1972). *Polymer thermal insulation materials.* Moscow: Stroyizdat. (In Russ.).

12. Amerkhanova G.I., Khatsrinov A.I. & Zenitova L.A. (2020). Composites based on plasma-treated basalt fiber for highly loaded concrete products. *Butlerov Communications*, (7). (In Russ.).

13. Klempner D. & Senjarevich V. (2009). *Polymer foams and foaming technologies*. Moscow: TsOP Profession. (In Russ.).

14. Baur E., Osswald T.A. & Rudolf N. (2021). *Handbook for plastics processor. Handbook of polymer materials*. Moscow: TsOP Profession. (In Russ.).

Information about the authors

G. I. Amerkhanova – assistant, leading engineer of the Department of "Technology of Inorganic Substances and Materials" of Kazan National Research Technological University.

E. A. Kiyanenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Synthetic Rubber Technologies at Kazan National Research Technological University.

L. A. Zenitova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Synthetic Rubber Technologies at Kazan National Research Technological University.

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

Статья поступила в редакцию 12 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 12 Mar 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 206–212.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 206–212

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 621.311
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.029 EDN: GURGED

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Константин Константинович Бахрунов [1], Алексей Николаевич Павлов [2], Татьяна Ивановна Некипелова [3]

[1, 3] Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, Россия
[2] Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия
[1] bkk1975@mail.ru,
[2] pavlov-msf-vsgutu@mail.ru,
[3] imi_bsu@mail.ru

Аннотация. *В работе представлено моделирование нагревательного устройства кипятильник универсальный марки КУ-200-2с применяемых в летательных аппаратах. Приводятся распределение полей температур по сечению изделия в процессе нагрева, возникающие при этом остаточные деформации и напряжения. Результаты исследования предлагается использовать для совершенствования работы изделия с учетом условий внешней среды и оптимизации веса конструкции.*
Ключевые слова: *численное моделирование, нагревательное устройство, нержавеющая сталь, кипятильник универсальный, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, теплопроводность.*

Для цитирования: Бахрунов К.К., Павлов А. Н., Некипелова Т. И. Моделирование процессов теплового напряженно-деформированного состояния нагревательного устройства // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 206 – 212. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.030, EDN: https://elibrary.ru/GURGED.

Original article

MODELING OF THE PROCESSES OF THERMAL STRESS-STRAIN STATE OF A HEATING DEVICE

Konstantin K. Bakhrunov [1], Alexey N. Pavlov [2], Tatyana I. Nekipelova [3]

[1, 3] Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov, Ulan-Ude, Russia
[2] East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia
[1] bkk1975@mail.ru,
[2] pavlov-msf-vsgutu@mail.ru,
[3] imi_bsu@mail.ru

Abstract. *The paper presents a simulation of a heating device, a universal boiler of the KU-200-2c brand used in lethal devices. The distribution of temperature fields along the section of the product during the heating process, resulting in residual deformations and stresses, is given. The results of the study are proposed to be used to improve the operation of the product, taking into account environmental conditions and optimizing the weight of the structure.*
Keywords: *numerical simulation, heating device, stainless steel, universal boiler, stress-strain state, finite element method, thermal conductivity.*

For citation: Bakhrunov K. K., Pavlov A. N., & Nekipelova T. I. (2024). Modeling of the processes of thermal stress-strain state of a heating device. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 206-212. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.030. EDN: https://elibrary.ru/GURGED.

© Бахрунов К.К., Павлов А. Н., Некипелова Т. И., 2024

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

ВВЕДЕНИЕ

В быту и промышленности находит широкое применение различные виды и конструкции нагревательных устройств [1]. К одним из таких устройств относиться кипятильник универсальный марки КУ-200-2с (КУ), данное устройство применяется на борту отечественных летательных аппаратов (самолетов и вертолетов). Основное назначение КУ – это кипячения воды, а также поддерживать постоянную температуру горячей воды длительное время в состоянии полета. К таким устройствам предъявляются особенные требования при эксплуатации.

Для решения задачи требуется привлечение численных методов расчета широко используемых в инженерной практике [2, 3]. Когда нет возможности применить экспериментальную составляющую связанную со многими трудностями и энергозатратами во времени, то для исследования сложных процессов теплопроводности широко применяют моделирование. Современные программные средства позволяют ускорить процесс разработки сложных моделей за счет применения унифицированных алгоритмов. Наиболее эффективно задача расчета применяется с привлечением математического моделирования и алгоритмизации на основе метода конечных элементов (МКЭ) [4-8].

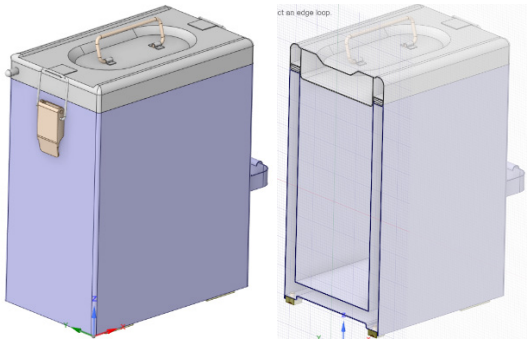
Целью работы является рассчитать поле температур и возникающие вследствие этого максимальные тепловые поля по деформации и напряжению с целью оптимизации массы конструкции материала изделия.

МЕТОДЫ

КУ состоит из корпуса, крана, верхней и задней крышек, нагревательных элементов и штепсельного разъема. Корпус представляет собой сварной сосуд с двойными стенками, изготовленный из нержавеющей стали. Он состоит из внутренней емкости, являющейся рабочим объемом кипятильника и внешнего кожуха, предназначенного для защиты внутренних элементов кипятильника от повреждений и создания теплоизоляционной воздушной прослойки. Верхняя крышка, закрывающая внутреннюю емкость кипятильника, полая и эта полость герметична. Спереди на верхней крышке расположен патрубок сигнализатора закипания. На верхней крышке имеется ручка для переноса кипятильника. Под крышкой устанавливается прокладка.

Общий вид и геометрическая модель изделия показана на рисунках 1а и 1б.

Геометрическая модель изделия выполнена из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, так как линейные размеры корпуса изделия значительно превышают толщину его стенок (0,8 мм), то исходная геометрическая модель допускает переход к тонкостенной модели. Стенки внешнего кожуха, внутренней емкости и крышки были заменены на поверхности (оболочки), для которых толщина является параметром, задаваемым при численном решении задачи. Воздушные прослойки между внешним кожухом и внутренней емкостью были смоделированы объемными телами. В результате получена расчетная геометрическая модель, показанная на рисунке 2.



а) б)

Рисунок 1 – Геометрическая модель изделия слева (а) и в сечении справа (б)

Figure 1 – Geometric model of the product on the left (a) and in section on the right (b)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Теплопроводность – это процесс передачи энергии в виде теплоты между соприкасающимися телами, имеющими разные температуры.

Рассмотрим уравнение нестационарной теплопроводности для однородного твёрдого тела, занимающего конечный объем в декартовых системах координат будет иметь вид:

$$k_{xx}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+k_{yy}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+k_{zz}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}+w=\rho\cdot c\cdot\frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

где $T = T(x, y, z, t)$ – поле температур в произвольной области; k_{xx}, k_{yy}, k_{zz} – коэффициенты теплопроводности в направлении x, y, z;
$w = w(x, y, z, t)$ – мощность теплоисточника внутри тела; ρ – плотность материала тела; c – удельная теплоемкость материала тела.

Для частного решения (1) должны быть заданы начальные и граничные условия.

Исходная задача разделяется на тепловую и прочностную части. В тепловой части к модели прикладываются соответствующие граничные условия и рассчитывается поле температуры в заданных условиях. Затем, полученные узловые температуры прикладываются в качестве граничных условий при решении прочностной задачи.

Корпус, внутренняя емкость и крышка изделия выполнены из нержавеющей стали

12Х18Н10Т. Для материала прокладки между крышкой и корпусом использовались свойства жесткой резины и линейная модель поведения. Необходимые для решения задачи физические свойства материалов показаны на рисунках 3 – 5.

Для тепловой части задачи используются следующие граничные условия: температура на стенках внутренней емкости изделия, принята постоянной и равной 85^{0}С, распределение температуры показано на рис.7; граничные условия для наружных стенок корпуса представлен на рисунке 8.

Граничные условия – на части поверхности S устройства задана температура T = 85 ^{0}С:

$T = T(x, y, z, t), \quad x, y\ z \in S.$ (2)

Конвективное условие (тепловой поток на границе): для наружных стенок корпуса задан переменный коэффициент теплообмена, соответствующий случаю теплоотдачи вертикальной стенки в неподвижную воздушную среду, представленная на рис.8; на дне корпуса задан постоянный коэффициент теплообмена, показанный на рис.9.

Граничные условия на части поверхности S стенки устройства задан тепловой поток плотность Q:

$$k_{xx}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}l_x + k_{yy}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}l_y + k_{zz}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}l_z + w = -Q \quad (3)$$

где l_x, l_y, l_z – направляющие косинуса внешней нормали к поверхности S, тепловой поток плотностью Q.

Граничные условия на части поверхности S стенки устройства происходит конвективный теплообмен:

$$k_{xx}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_{yy}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_{zz}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = -h\cdot(T_s - T_{cp}) \quad (4)$$

где T_s – температура поверхности S,
T_{cp} – температура внешней среды,
h – коэффициент теплоотдачи, q = $q = -h\cdot(T_s - T_{cp})$ – плотность теплового потока, отводимого с поверхности тела из-за конвекции.

Уравнения (1) - (2) имеют вариационную формулировку, решение (1) с граничными условиями (2) и (3) эквивалентно нахождению в фиксированной момент времени минимума Функционала

Таблица 1 – Теплофизические свойства материала корпуса, внутренней емкости и крышки

Table 1 – Thermophysical properties of the housing material, inner container and lid

Параметры	Параметры
Модуль Юнга	1,94 *105 МПа
Коэффициент Пуассона	0,3
Коэффициент теплового расширения	1,66 *10-5 1/0С
Объемный модуль упругости	1,6167 *105 МПа
Модуль сдвига	7,4615*104 МПа
теплопроводность	16 Вт/м*0С
Плотность	7920 кг/м3

Таблица 2 – Теплофизические свойства материала прокладки (резина)

Table 2 – Thermophysical properties of the gasket material (rubber)

Параметры	Параметры
Теплопроводность	0,16 Вт/м*0С
Удельная теплоемкость при постоянном давлении	1,0 Дж /кг * 0С

Таблица 3 – Теплофизические свойства воздуха во внутренних полостях

Table 3 – Thermophysical properties of air in internal cavities

Параметры	Параметры
Теплопроводность	0,026 Вт/м*0С
Плотность	1,1614 кг/м3
Удельная теплоемкость при постоянном давлении	1007,0 Дж /кг * 0С
Относительная проницаемость	1,00

$$\chi = \int_v \frac{1}{2}\left[\begin{array}{l} k_{xx}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + k_{yy}\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + k_{zz}\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2 - \\ 2\left(w - \rho c\frac{\partial T}{\partial t}\right)T \end{array}\right] dV + \quad (4)$$

$$+\int_s qT\,dS + \int_s \frac{h}{2}(T_s - T_{ch})^2\,dS.$$

Применяя функционал (4) и разбивая область тела на n-конечные элементы, создавая при этом m узлов, то получим степени свободы — это температуры узлов, которые образуют матрицу из векторов степеней свободы (узловых температур):

$\{T\}T = \{T_1, \ldots\ldots T_m\}.$ (5)

далее на одной грани *ijk* имеем тепловой поток плотностьб Q на другой грани *lij* происходит конвективная теплоотдача Q_h. Внутри действует теплоисточники с мощностью w. Степенями свободы будут узловые температуры, образующие вектор $\{T\}T = \{Ti, Tj, Tk, Tl\}$,

узловые тепловые нагрузки элемента образуют

вектор $\{Q\}T = \{Qi, Qj, Qk, Ql\}$.
температура в оболочке апроксимируется с помощью линейных функций формы (пример: с двумя узлами):

$$T(x) = [N]\{T\} = [Ni\ Nj]\{T\}, \quad (6)$$

где $N_i = x_j - x / x_j - x_j$; $N_j = x - x_i / x_j - x_j$. (7)

Матрица коэффициентов теплопроводности и матрица производных функций формы имеют соответственно вид

$$[D] = k_{xx},\ [B] = 1/L\ [-1\ 1] \quad (8)$$

где L = шаг сетки (узла).

Матрица теплопроводности (жесткости) элемента:

$$[K] = [k] = \int_v [B]^T [D][B]dV + \int_s h[N]^T [N]dS =$$

$$= \frac{Ak_{xx}}{L}\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} + Ah\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Также запишется матрицы теплоемкости элемента [2]. Векторы элементных узловых тепловых потоков, эквивалентны тепловому потоку Q и конвективной теплопередаче соответственно.

$$Q = \int_s q[N]^T dS = -QA\{{}^1_0\}, \quad (10)$$

$$Q = \int_s hT[N]^T dS = -AhT_{cp}\{{}^1_0\}. \quad (11)$$

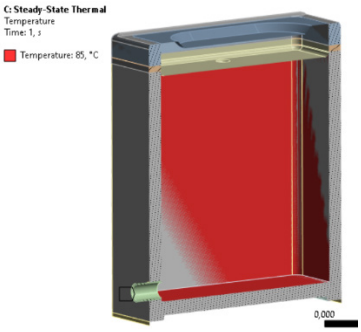


Рисунок 2 – Граничное условие для стенок внутренней емкости

Figure 2 – Boundary condition for the walls of the inner container

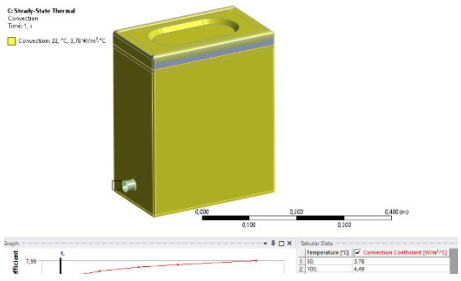


Рисунок 3 – Граничное условие для наружных стенок корпуса

Figure 3 – Boundary condition for the outer walls of the housing

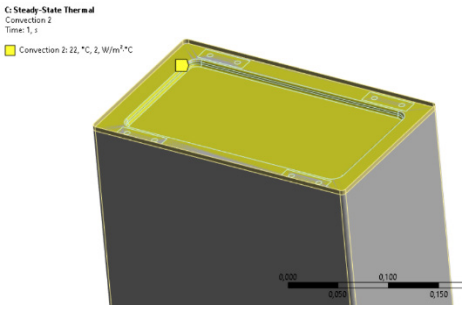


Рисунок 4 – Граничное условие для дна Корпуса

Figure 4 – Boundary condition for the bottom of the Hull

Для прочностной части задачи используются следующие граничные условия:

- узловые температуры, полученные из решения тепловой части задачи;
- закрепление опор модели по всем степеням свободы (рис. 5);
- гидростатическое давление, приложенное к стенкам внутренней емкости (рис. 6).

Действие силы тяжести моделировалось приложением инерционных узловых сил, рассчитываемые по ускорению свободного падения. Все контакты между телами считаются неизменяемыми (bonded-модель контакта) кроме контакта опор с корпусом, который рассчитывался по модели с трением (коэффициент трения – 0,15).

Для решения задачи использовались следующие типы конечных элементов:

- SHELL181 – для корпуса, внутренней емкости и крышки;
- SOLID187 и SOLID186 – для воздушных прослоек и уплотнения.

Все оболочки были разбиты на четырехугольные элементы, объемные тела – на призматические элементы и тетраэдры. Все КЭ имеют второй порядок аппроксимации (квадратичные элементы). Общий вид конечно-элементной модели показан на рисунке 7.

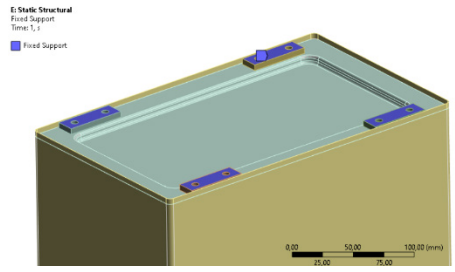


Рисунок 5 – Закрепление модели

Figure 5– Fixing the model

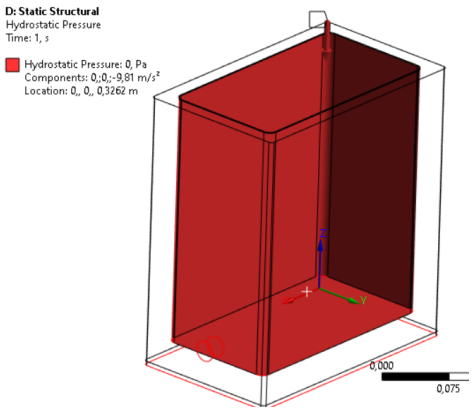


Рисунок 6 – Гидростатическое давление на стенках емкости

Figure 6 – Hydrostatic pressure on the walls of the container

Для плоских и объемных элементов, дифференцируя аппроксимирующие функции перемещений внутри элементов, находят деформации и по закону Гука вычисляет напряжения.

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате численного моделирования имеем поле температур, предоставленное на рис. 8. Поле температур распределилось с нижней части КУ (дно) равное 39 ^{0}C далее температура повышается вплоть до верхней части и равняется 85^{0}C. На рисунке 9 видно поле температур в воздушных прослойках равная 85 ^{0}C. Распределение поля температур в резиновом уплотнении (прокладке) показано на рисунке 10.

На рисунке 11 представлено перемещения, вызванные тепловыми нагрузками во внутренней части нагревательного устройства, максимальные перемещения возникают в нижней емкости и равны 0,18 мм (растяжения) и наименьшие перемещения наблюдается в верхней части устройства равные 0,02 мм (сжатие), также наблюдаем на нижней наружной стенке значение также небольшое и равное 0,009 мм.

На рисунке12 представлено поле напряжений по Мизесу [9-12].

На рисунке 13 показаны температурные деформации для стенок корпуса и внутренней емкости изделия и на рисунке 14 – Суммарная сила реакции в опорах изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ расчетов нагревательного устройства показал, что при максимальной температуре поле напряжений сформировалось в определенной области, где максимальные перемещения возникают в нижней емкости и равны 0,18 мм (растяжение) и наименьшие перемещения наблюдается в верхней части устройства равные 0,02 мм (сжатие), также наблюдаем на нижней наружной стенке значение равное 0,009 мм.

Результаты расчетов показали, что значения по допускаемым напряжениям и деформациям не превышают предельных значений.

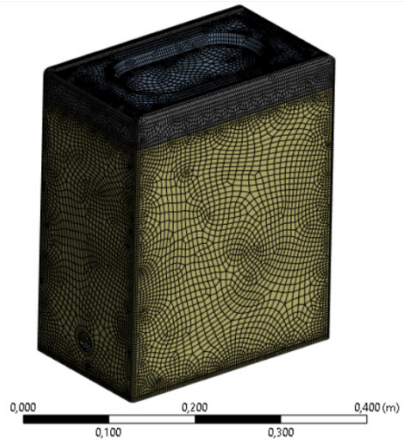


Рисунок 7 – Общий вид конечно-элементной модели

Figure 7 – General view of the finite element model

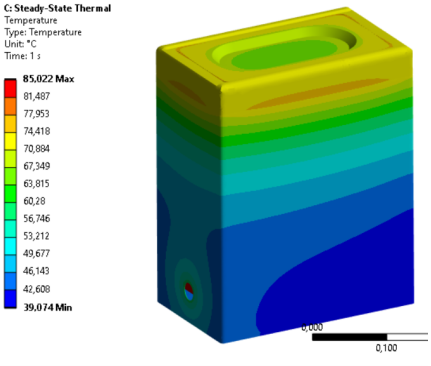


Рисунок 8 – Поле температуры на наружных стенках корпуса изделия

Figure 8 – Temperature field on the outer walls of the product body

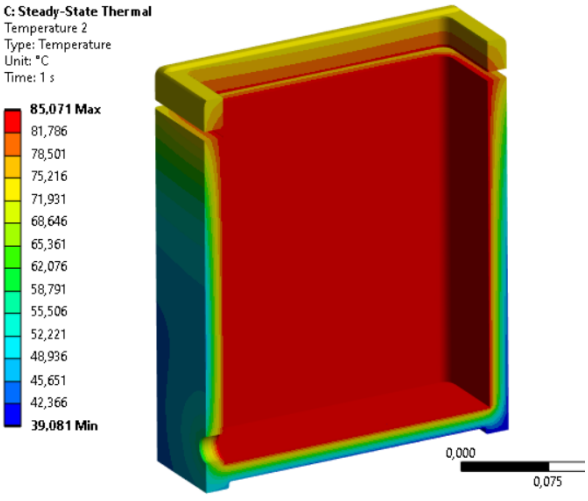


Рисунок 9 – Поле температуры в воздушных Прослойках

Figure 9 – Temperature field in air layers

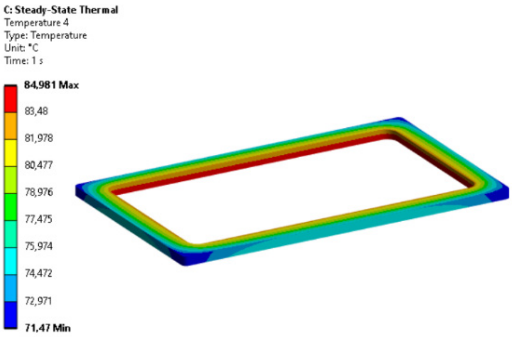


Рисунок 10 – Поле температуры в уплотнении

Figure 10 – Temperature field in the seal

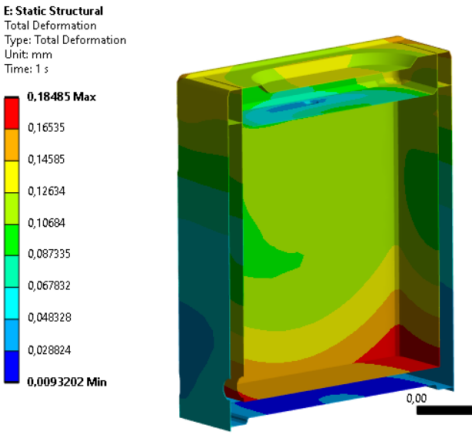


Рисунок 11 – Перемещения для стенок корпуса и внутренней емкости изделия

Figure 11 – Movements for the walls of the housing and the inner container of the product

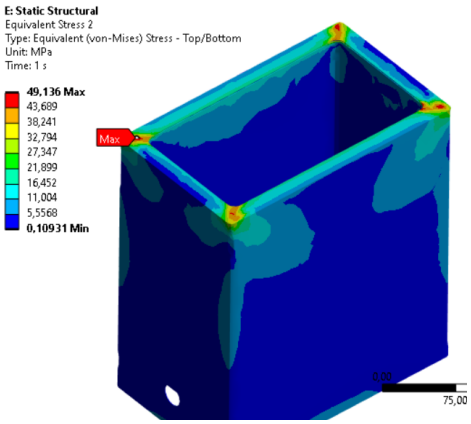


Рисунок 12 – Эквивалентные (по Мизесу) напряжения для стенок корпуса и внутренней емкости изделия

Figure 12 – Equivalent (according to Mises) stresses for the walls of the housing and the internal capacity of the product

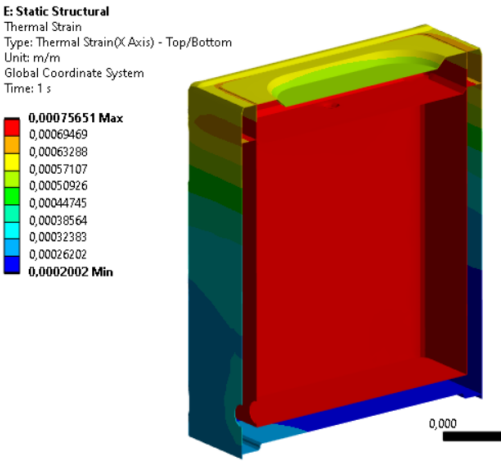


Рисунок 13 – Температурные деформации для стенок корпуса и внутренней емкости изделия

Figure 13 – Temperature deformations for the walls of the body and the inner container of the product

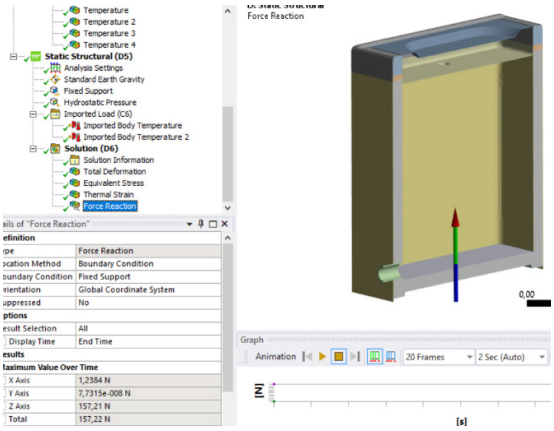


Рисунок 14 – Суммарная сила реакции в опорах изделия

Figure 14 – Total reaction force in the supports of the product

Наибольшие концентрации напряжений по Мизесу на стенках корпуса и внутренней ёмкости показали достаточно малые значения по прочности 49,136 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еськова А. В. Математическое моделирование устройств генерирования тепловой энергии на основе электромеханического преобразователя с разделенными нагревательными элементами: дис. … канд. техн. наук. – Комсомольск-на-Амуре, 2006. 181 с.

2. Теория и реализация задач вычислительной математики в пакете MathCad: учебное пособие / сост. А.И. Кочегуров, Е.А. Кочегурова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 135 с.

3. Design and Structural Factors' Influence on the Fatigue Life of Steel Products with Additive Manufacturing / N. Kazantseva, M. Il'inikh, V. Kuznetsov, Y. Koemets, K. Bakhrunov, M. Karabanalov //Materials 2023, 16(23), 7315; https://doi.org/10.3390/ma16237315 - 24 Nov 2023.

4. Бруяка В.А. Инженерный анализ в Ansys Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Аведянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. 271 с.

5. В.А. Пронин, Д.В. Жигновская, В.А. Цветков. Введение в расчетную платформу Ansys Workbench: Лабораторные работы. Часть 1 – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 46 с.

6. Денисов, М. А. Компьютерное проектирование. ANSYS: [учебное пособие] / М. А. Денисов Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2014. – 77 с.

7. Скворцов, Ю. В. Использование МКЭ-пакета ANSYS для решения задач механики деформируемого твёрдого тела [Электронный ресурс]: интерактивное. мультимедийное. пособие / Ю. В. Скворцов, С. В. Глушков; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (Нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (9,1 Мб). – Самара, 2011. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

8. Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство, Изд-во Либроком, 2015. – 272 с.

9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. 248 с.

10. Рабинович М. Х. Прочность, температура, время. – М.: Наука, 1968. 160 с.

11. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. – 744 с.

12. Ильюшин А. А. Механика сплошной среды. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 310 с.

Информация об авторах

К. К. Бахрунов – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Естественнонаучные дисциплины» инженерного факультета Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова.

А. Н. Павлов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолето- и вертолётостроения» машиностроительного факультета Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления.

Т. И. Некипелова – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Естественнонаучные дисциплины» инженерного факультета Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова.

Information about the authors

K. K. Bakhrunov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of "Natural Science Disciplines" of the Faculty of Engineering of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov.

T. I. Nekipelova - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of "Natural Science Disciplines" of the Engineering Faculty of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippova.

A. N. Pavlov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Aircraft and Helicopter Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, East Siberian State University of Technology and Management

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 213–222.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 213–222.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 541.64:546.65:535.37
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.031 EDN: FZBPGJ

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЕВРОПИЙ-ГАЛЛИЕВОГО ГРАНАТА

Анастасия Борисовна Рошколаева [1], Владимир Антонович Новоженов [2], Владимир Петрович Смагин [3], Игорь Александрович Шмаков [4], Лина Викторовна Затонская [5], Наталья Егоровна Стручева [6], Ольга Владимировна Белова [7]

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
[1] anastasiya_roshkolaeva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2851-1529
[2] novozhenov@mail.asu.ru, https://orcid.org/0000-0002-9073-5427
[3] smaginV@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4782-6355
[4] Shmakov@vc.asu.ru, https://orcid.org/0000-0003-1658-0663
[5] zatonskayalv@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-2842-2710
[6] strucheva@chem.asu.ru., https://orcid.org/0000-0001-7507-1725
[7] owbelova@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0000-8037-6689

Аннотация. *Особое внимание исследователей к сложным оксидам металлов со структурой граната связано с их широким применением в химической промышленности, микро- и оптоэлектронике. Редкоземельные гранаты состава $Ln_3M_5O_{12}$, где M это Ga, Al или Fe, применяются в твердотельных лазерах, микроволновых и ультразвуковых устройствах, оптических датчиках давления, а также для производства различных типов керамики, катализаторов, радио- и антикоррозийных защитных покрытий и для некоторых переделов в металлургической и химической промышленности. Синтез галлатов лантаноидов является сложным многостадийным процессом при проведении которого применяются высокие температуры, механическая активация реагентов, а также неоднократный размол продуктов с последующим многократным отжигом. Существующие технологии совершенствуются, однако их температурные характеристики остаются неизменно высокими. Авторами данной работы смешанный оксид европия и галлия синтезирован методом соосаждения из водных растворов нитратов европия и галлия при мольном соотношении солей 3 : 5, а также из составов, содержащих избыток соли галлия, с последующим отжигом при температуре 800 °C в течение 24 часов. Выявлены технологические опасности, связанные с летучестью соединений галлия, и показаны пути их устранения. Состав и структура продукта синтеза установлены методами химического и рентгенофазового анализа (РФА). Определены параметры кристаллической решетки, равные: a = b = c = 1,2403 нм, истинная плотность 6,678 ± 0,006 г/см^3, активное и реактивное электрическое сопротивление в интервале температур (25–150) °C при изменении частоты электрического тока от 50 Гц до 200 кГц. На основании изменения электрических характеристик сделано заключение о полупроводниковых свойствах синтезированного соединения, которое нашло подтверждение при изучении его люминесценции. Люминесценция $Eu_3Ga_5O_{12}$ связана с $^5D_{0,1} \rightarrow {}^7F_j$ электронными переходами в ионах Eu^{3+}. Возбуждение люминесценции происходит в полосы поглощения Eu^{3+}, а также в результате их взаимодействия с компонентами матрицы. Кроме того, зарегистрирована широкая полоса люминесценции с максимумом в области 450 нм, связанная с рекомбинационными процессами на уровнях дефектов структуры $Eu_3Ga_5O_{12}$ после возбуждения в результате межзонного перехода электронов в галлате европия.*

Ключевые слова: *галлаты металлов, лантаноиды, галлат европия, электрическое сопротивление, люминесценция.*

Для цитирования: Спектральные и электрические свойства европий-галлиевого граната / А. Б. Рошколаева [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 213 – 222. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.031, EDN: https://elibrary.ru/FZBPGJ.

© Рошколаева А. Б., Новоженов В. А., Смагин В. П., Шмаков И. А. Затонская Л. В., Стручева Н. Е., Белова О. В., 2024

А. Б. РОШКОЛАЕВА, В. А. НОВОЖЕНОВ, В. П. СМАГИН, И. А. ШМАКОВ,
Л. В. ЗАТОНСКАЯ, Н. Е. СТРУЧЕВА, О. В. БЕЛОВА

Original article

SPECTRAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF EUROPIUM-GALLIUM GARNET

Anastasiya B. Roshkolaeva [1], Vladimir A. Novozhenov [2], Vladimir P. Smagin [3], Igor A. Shmakov [4], Lina V. Zatonskaya [5], Natalea E. Strucheva [6], Olga V. Belova [7]

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] Altai State University, Barnaul, Russia
[1] anastasiya_roshkolaeva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2851-1529
[2] novozhenov@mail.asu.ru, https://orcid.org/0000-0002-9073-5427
[3] smaginV@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4782-6355
[4] Shmakov@vc.asu.ru, https://orcid.org/0000-0003-1658-0663
[5] zatonskayalv@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-2842-2710
[6] strucheva@chem.asu.ru., https://orcid.org/0000-0001-7507-1725
[7] owbelova@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0000-8037-6689

Abstract. *Particular attention of researchers to complex metal oxides with a garnet structure is associated with their widespread use in the chemical industry, micro- and optoelectronics. Rare earth garnets of the composition $Ln_3M_5O_{12}$, where M is Ga, Al or Fe, are used in solid-state lasers, microwave and ultrasonic devices, optical pressure sensors, as well as for the production of various types of ceramics, catalysts, radio- and anti-corrosion protective coatings and for some processing in the metallurgical and chemical industries. The synthesis of lanthanide gallates is a complex multi-stage process that uses high temperatures, mechanical activation of reagents, as well as repeated grinding of products followed by repeated annealing. Existing technologies are being improved, but their temperature characteristics remain consistently high. The authors of this work synthesized mixed oxide of europium and gallium by coprecipitation method from aqueous solutions of europium and gallium nitrates at a molar salt ratio of 3 : 5, as well as from compositions containing an excess of gallium salt, followed by annealing at a temperature of 800 °C for 24 hours. Technological hazards associated with the volatility of gallium compounds are identified and ways to eliminate them are shown. The composition and structure of the synthesis product were determined by chemical and X-ray phase analysis methods. The parameters of the crystal lattice have been determined: a = b = c = 1,2403 nm, true density 6.678 ± 0.006 g/cm^3, active and reactive electrical resistance in the temperature range (25–150) °C when the frequency of the electric current changes from 50 Hz to 200 kHz. Based on the change in electrical characteristics, a conclusion was made about the semiconductor properties of the synthesized compound, which was confirmed by studying its luminescence. The luminescence of $Eu_3Ga_5O_{12}$ is associated with $^5D_{0,1} \rightarrow {}^7F_j$ electronic transitions in Eu^{3+} ions. Excitation of luminescence occurs in the absorption bands of Eu^{3+}, as well as result of their interaction with matrix components. In addition, a broad luminescence band with a maximum in the region of 450 nm was detected, associated with recombination processes at the levels of defects in the structure of $Eu_3Ga_5O_{12}$ after excitation as a result of the interband transition of electrons in europium gallate.*

Keywords: *metal gallates, lanthanides, europium gallate, electrical resistance, luminescence.*

For citation: Roshkolaeva, A. B., Novozhenov, V. A., Smagin, V. P., Shmakov, I. A., Zatonskaya, L. V., Strucheva, N. E. & Belova, O. V. (2024). Spectral and electrical properties of europium-gallium garnet. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 213-222. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.031. EDN: https://elibrary.ru/FZBPGJ.

ВВЕДЕНИЕ

Оксиды металлов со структурой граната являются объектами пристального внимания исследователей. Особое отношение к ним объясняется широким применением в микро- и оптоэлектронике [1–4]. К перспективным оксидам относятся галлаты редкоземельных элементов. Например, соединения со структурой граната $Re_3M_5O_{12}$, где Re = Eu, Gd, Lu и др. или Y и M = Ga, Al или Fe, применяются в твердотельных лазерах, микроволновых и ультразвуковых устройствах, оптических датчиках давления [3], а также для производства различных типов керамики, катализаторов, радио- и антикоррозийных защитных покрытий и для некоторых переделов в металлургической и химической промышленности [5].

Приоритетными являются исследования структуры, морфологии и люминесценции галлатов. Синтез галлатов лантаноидов является высокотемпературным технологически сложным многостадийным процессом [5–8]. На первой стадии синтеза из растворов его проводят в

водной среде. Далее, образовавшиеся аморфные гидратированные оксиды подвергают отжигу при температурах больше 1200 °С. В процессе синтеза применяются механическая активация реагентов, а также неоднократный размол продуктов с последующим многократным отжигом. Такая сложная процедура требуется для устранения аморфной фазы и получения монофазных продуктов [3, 5, 8]. Проблема высокой температуры синтеза заключается в летучести соединений галлия. При увеличении температуры образуются продукты нестехиометрического состава, а также побочные вещества. Существующие технологии совершенствуются, однако их температурные характеристики неизменно остаются высокими, а процесс многостадийным [9–11]. Разработка новых и совершенствование известных способов синтеза, а также определение физико-химических характеристик необходимы для более полного раскрытия прикладного значения галлатов лантаноидов. При этом информация об электрических свойствах лантаноид-галиевых оксидов весьма ограничена, однако эти свойства показывают возможность отнесения соединений к группе полупроводников, а также потенциальную способность люминесцировать при различных способах возбуждения.

Цель работы – получение европий-галиевого граната без применения механоактивации и размола исходных и промежуточных веществ при температуре меньше 1000 °С и установление его электрических и люминесцентных свойств.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Галлат европия синтезирован по методике [12] методом химического соосаждения из азотнокислого раствора нитратов европия и галлия раствором аммиака (х.ч.) с последующим высушиванием при температуре 130 °С в течение 3 часов и дальнейшим прокаливанием в муфельной печи при температуре 800 °С в течение 24 часов. Для проведения синтеза были взяты соли европия и галлия в количестве эквивалентном атомарному соотношению Eu : Ga, равному 3 : 5, а также смеси, содержащие избыток соли галлия. Азотнокислые растворы европия и галлия приготовлены взаимодействием оксида европия (Eu_2O_3, ЕвО-Л, 99.99 %) и галлия металлического (Ga, 99.99 %) с избытком азотной кислоты (х.ч.). Химические реакции первой стадии синтеза (1) и после отжига (2) представлены схемами:

$$2Eu(NO_3)_3 + 2Ga(NO_3)_3 + 12NH_3\cdot H_2O = Eu_2O_3\cdot nH_2O + Ga_2O_3\cdot nH_2O + 12NH_4NO_3 + nH_2O \quad (1)$$

$$3Eu_2O_3\cdot nH_2O + 5Ga_2O_3\cdot nH_2O \xrightarrow{800°C} 2Eu_3Ga_5O_{12} + 2nH_2O \quad (2)$$

Синтезированные вещества представляют собой белые кристаллические порошки. Химический анализ продуктов синтеза проведен по методикам [13]. Фазовый состав после прокаливания установлен методом рентгенофазового анализа (РФА) на рентгеновском дифрактометре «XRD-6000» («Shimadzu», Япония) на CuK_α-излучении с использованием баз данных PCPDFWIN и программы полнопрофильного анализа POWDER CELL 2.4. Истинная плотность продуктов синтеза определена пикнометрическим методом по методике [14]. Электрическое сопротивление в зависимости от температуры и частоты тока измерено на прецизионном измерителе параметров RLC-компонентов «АМ-3016» фирмы «Актаком» [15] по методике [16] при частотах $5{,}00\cdot10^{-2}$, 1,00, 10,0, 50,0, 100, 150 и 200 кГц при температурах 25 °С, 50 °С, 100 °С, 125 °С, 150 °С и 180 °С. Для измерения были подготовлены цилиндрические образцы диаметром (4,13 ± 0,02) мм, площадью сечения (13,4 ± 0,2) мм^2 и длиной (9,97 ± 0,02) мм. Образцы помещали между двумя медными пластинами в термостате марки «Метаформ» (ООО «Метаформ»). Базовая приборная погрешность измерения составляла 0,05 %, точность установки частоты варьировалась в пределах ± 0,02 %. Величины сопротивления пересчитывали в значения удельного сопротивления. Спектры люминесценции и возбуждения люминесценции зарегистрированы на спектрофлуориметре Shimadzu RF-5301PC (Япония) при комнатной температуре по методике, приведенной в работе [17]. Для исследования порошки помещали в кварцевую кювету, люминесценцию регистрировали под углом 45 °.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методом порошка (РФА) установлено, что в результате синтеза при избытке в исходной реакционной смеси галлия азотнокислого относительно европия азотнокислого, превышающего мольное соотношение Ga : Eu = 3 : 5, получен галлат европия состава $Eu_3Ga_5O_{12}$. Синтезированный галлат европия имеет кубическую структуру граната с параметрами кристаллической решетки: a = b = c = 1,2403 нм (рисунок 1). Параметры кристаллической решетки $Eu_3Ga_5O_{12}$ близки к параметрам решетки, приведенным в работах [6–8]: a = b = c = 1,2413 нм [6], a = b = c = 1,241 нм [7] и a = b = c = 1,24027 нм [8].

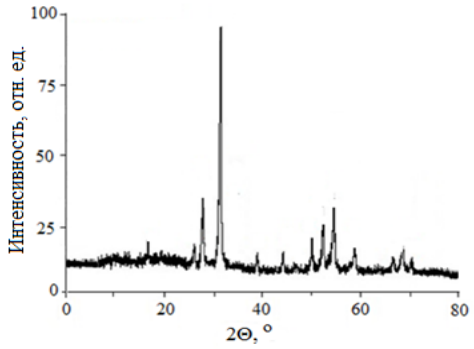


Рисунок 1 – Рентгенограмма порошка $Eu_3Ga_5O_{12}$

Figure 1 – X-ray of $Eu_3Ga_5O_{12}$ powder

При содержании солей европия и галлия в исходной реакционной смеси в эквивалентном атомарном соотношении: Ga : Eu = 3 : 5, в составе целевого продукта образуется до 6 масс.% Eu_2O_3 (рисунок 2). Присутствие избыточного содержания европия в целевом продукте относительно расчетного к содержанию галлия (3 : 5) подтверждено результатами химического анализа [13]. Образующийся оксид Eu_2O_3 имеет кубическую структуру с параметрами: a = b = c = 1,0853 нм. Они близки к параметрам кристаллической решетки Eu_2O_3, a = 1,0860 нм, приведенным в работах [18, 19]. Присутствие фазы оксидов металлов при синтезе галлатов является типичной ситуацией вследствие летучести соединений галлия при прокаливании [20]. Увеличение температуры синтеза, как это принято для получения других однофазных оксидных систем [21, 22], приводит к нарушению стехиометрического соотношения Eu : Ga = 3 : 5 в целевом продукте.

Истинная плотность $Eu_3Ga_5O_{12}$, равная 6,678 ± 0,006 г/см^3, определенна пикнометрическим методом. Полученное значение соответствует плотности галлата европия со структурой граната, определенной из рентгенографических данных [6, 8]. В литературных источниках [6, 8] значение рентгеновской плотности $Eu_3Ga_5O_{12}$ приводится в диапазоне от 6,92 г/см^3 до 6,97 г/см^3.

Электрическое сопротивление образцов $Eu_3Ga_5O_{12}$ зависит от частоты пропускаемого тока (рисунок 3) и от температуры (таблица). При увеличении температуры до 100 °C электрическое сопротивление $Eu_3Ga_5O_{12}$ уменьшается, а при дальнейшем нагревании практически не изменяется (рисунок 4). Температура, при которой сопротивление становится неизменным, зависит от частоты пропускаемого тока.

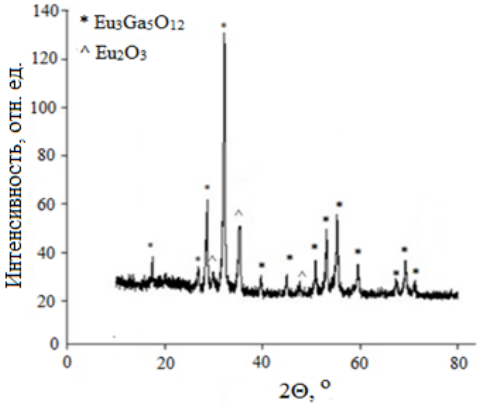


Рисунок 2 – Рентгенограмма продукта синтеза ($Eu_3Ga_5O_{12}$, Eu_2O_3)

Figure 2 – X-ray of synthesis product ($Eu_3Ga_5O_{12}$, Eu_2O_3)

Например, для частот тока 50 и 100 кГц эффект выравнивания сопротивления начинается при температуре 100 °C, при частоте тока 150 кГц эта температура смещается в область 50 °C, а при частоте тока 200 кГц зависимость выравнивается во всем температурном интервале (рисунок 4а). Скачкообразное изменение электрического сопротивления для частоты тока 50 кГц и, в меньшей степени для 100 кГц, связано с различной восприимчивостью кристаллов к действующей частоте тока [23]. Для реактивного сопротивления данный эффект наблюдается только для частоты тока 50 кГц (рисунок 4б).

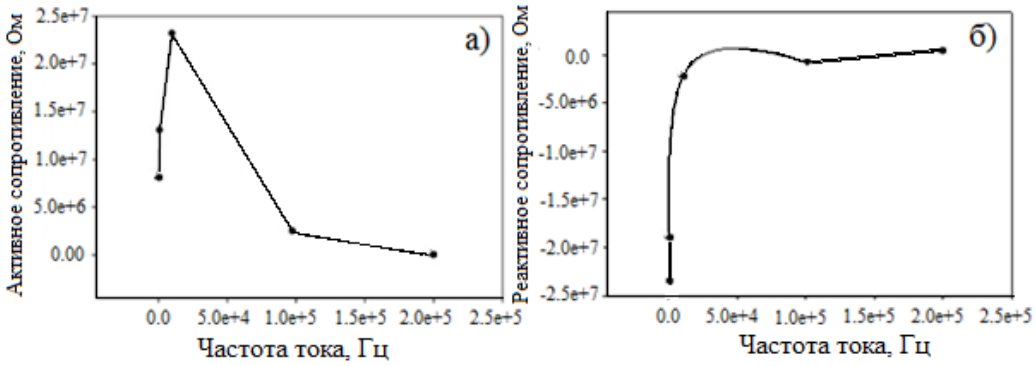


Рисунок 3 – Зависимости активного (**а**) и реактивного (**б**) сопротивления от частоты пропускаемого электрического тока, T = 25 °C

Figure 3 – Dependences of active (**a**) and reactive (**b**) resistance on the frequency of the transmitted electric current, T = 25 °C

Таблица 1 – Величины активного и реактивного электрического сопротивления при различной температуре T и частоте электрического тока F

Table 1 – Values of active and reactive electrical resistance at different temperatures T and frequency of electric current F

T, °C	Частота тока, F, кГц	Активное электрическое сопротивление, $R,10^5$, Ом	Реактивное электрическое сопротивление, $X,10^5$, Ом	Удельное активное сопротивление, Ом·м	Удельное реактивное сопротивление, Ом·м
25	50	391	-166	$53{,}0\cdot10^3$	$-22{,}5\cdot10^3$
50		532	260	$72{,}0\cdot10^3$	$35{,}2\cdot10^3$
75		16,3	4,09	$2{,}20\cdot10^3$	$5{,}53\cdot10^2$
100		18,0	5,22	$2{,}44\cdot10^3$	$7{,}06\cdot10^2$
125		18,8	5,35	$2{,}55\cdot10^3$	$7{,}24\cdot10^2$
150		18,7	4,61	$2{,}53\cdot10^3$	$6{,}24\cdot10^2$
25	100	66,1	-5,42	$8{,}95\cdot10^3$	$5{,}60\cdot10^3$
50		81,2	12,5	$11{,}0\cdot10^3$	$1{,}69\cdot10^3$
75		11,0	8,71	$1{,}50\cdot10^3$	$1{,}18\cdot10^3$
100		11,9	10,3	$1{,}61\cdot10^3$	$1{,}39\cdot10^3$
125		12,4	10,5	$1{,}68\cdot10^3$	$1{,}42\cdot10^3$
150		12,5	10,0	$1{,}69\cdot10^3$	$1{,}36\cdot10^3$
25	150	30,9	41,3	$4{,}19\cdot10^3$	$3{,}68\cdot10^3$
50		3,03	26,2	$4{,}10\cdot10^2$	$3{,}55\cdot10^3$
75		2,01	16,6	$2{,}72\cdot10^2$	$2{,}25\cdot10^3$
100		1,07	17,5	$1{,}45\cdot10^2$	$2{,}37\cdot10^3$
125		0,68	18,2	92,1	$2{,}47.10^3$
150		0,05	16,6	6,77	$2{,}25\cdot10^3$
25	200	0,13	-2,72	17,6	$7{,}33\cdot10^2$
50		0,16	5,25	21,7	$7{,}11\cdot10^2$
75		0,07	4,97	9,48	$6{,}73\cdot10^2$
100		0,04	4,97	5,42	$6{,}73\cdot10^2$
125		0,04	4,98	5,42	$6{,}74\cdot10^2$
150		0,01	4,91	1,36	$6{,}65\cdot10^2$

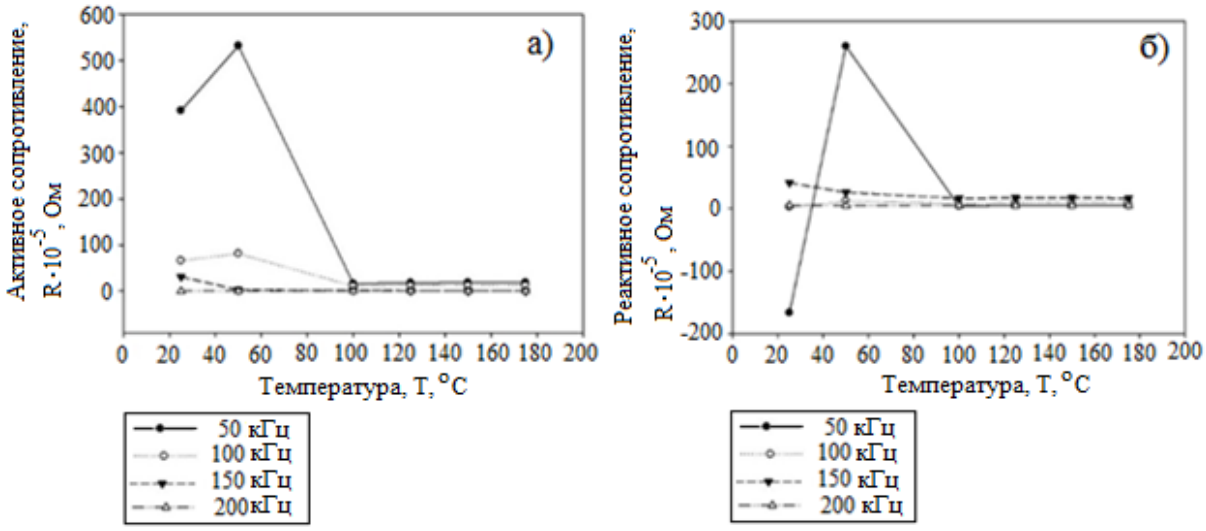


Рисунок 4 – Зависимости активного (**а**) и реактивного (**б**) сопротивления от температуры

Figure 4 – Dependences of active (**a**) and reactive (**b**) resistance on temperature

В целом, ход зависимостей сопротивления от температуры при разных частотах (рисунок 4) позволяет говорить о проявлении $Eu_3Ga_5O_{12}$ полупроводниковых свойств, как и в случае галлата европия с мольным соотношением оксидов $Eu_2O_3 : Ga_2O_3$, равным 1 : 1 [24, 25]. Величины удельного сопротивления синтезированных галлатов европия также находятся в области полупроводников (таблица 1).

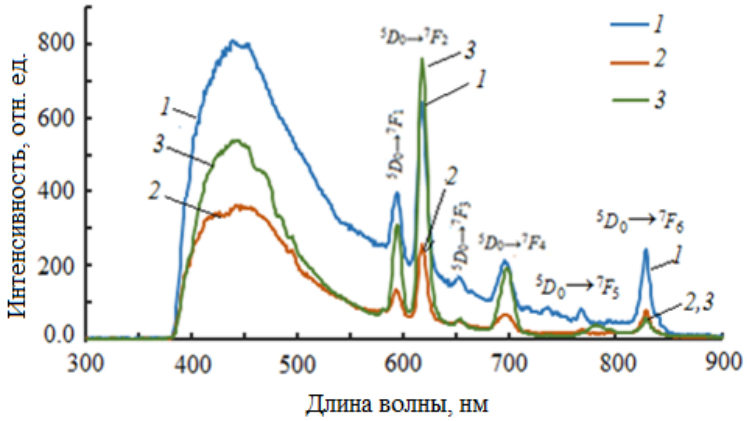


Рисунок 5 – Спектры люминесценции, зарегистрированные для возбуждающего излучения с длинами волн 268 нм (***1***), 310 нм (***2***) и 355 нм (***3***)

Figure 5 – Luminescence spectra recorded for exciting radiation with wavelengths of 268 nm (***1***), 310 nm (***2***) and 355 nm (***3***)

При фотовозбуждении порошок $Eu_3Ga_5O_{12}$ люминесцирует. В спектрах наблюдаются узкие полосы, соответствующие переходам 4*f*-электронов с метастабильного $^5D_0$ возбужденного уровня энергии на $^7F_{1\text{-}6}$ энергетические подуровни основного ^7F состояния ионов Eu^{3+} (рисунок 5). Полосы в спектрах уширенные. Штарковская структура выражена слабо. Неоднородное уширение полос связано с неэквивалентностью положения ионов Eu^{3+} в структуре галлата. В порошках, содержащих оксид европия, оно также связано с присутствием фазы Eu_2O_3. Отношение пиковой интенсивности полосы зависящего от симметрии окружения иона Eu^{3+} электро-дипольного $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ электронного перехода к интенсивности полосы не зависящего от симметрии окружения магнитно-дипольного $^5D_0 \rightarrow {}^7F_1$ перехода в спектрах, зарегистрированных при возбуждении излучением с длинами волн 268 нм, 310 нм и 355 нм, соответственно, равны 1,6, 1,9 и 2,5. Различие этого соотношения в спектрах, полученных при возбуждении излучением с разными длинами волн (рисунок 5), объясняется разным аддитивным вкладом наблюдающейся в спектре широкой полосы люминесценции с максимумом в области 450 нм. Эта спектральная полоса связана с возбуждением в результате межзонного перехода электронов в галлате европия при поглощении электромагнитного излучения с длинами волн < 350 нм. Дезактивация этого возбуждения происходит в результате перехода электронов из зоны проводимости на уровни дефектов кристаллической структуры галлата европия. На энергетических уровнях дефектов наблюдается рекомбинация электрон-дырочных пар с выделением квантов энергии в виде люминесценции. Также переходы электронов из зоны проводимости происходят на возбужденные уровни энергии ионов Eu^{3+}, расположенные в запрещенной зоне $Eu_3Ga_5O_{12}$. Присутствие в спектре люминесценции широкой полосы подтверждает заключение о полупроводниковых свойствах $Eu_3Ga_5O_{12}$. Положение этой полосы соответствует достаточно большой ширине запрещенной зоны галлата европия (> 3,5 эВ). Литературные значения ширины запрещенной зоны галлатов лантаноидов подтверждают это предположение. Например, для галлата самария ширина запрещенной зоны равна 4,6 эВ [26]. Наибольшая интенсивность данной полосы в спектре люминесценции (450 нм), зарегистрированном при возбуждении излучением с длиной волны 268 нм также соответствует этому предположению. Увеличение интенсивности полосы в спектре, зарегистрированном при возбуждении излучением 355 нм (рисунок 5, спектр ***3***), связано с многообразием обменных процессов, протекающих с участием возбужденных уровней энергии ионов Eu^{3+}, расположенных в области спектра > 350 нм, а также уровней, созданных дефектами структуры $Eu_3Ga_5O_{12}$, в совокупности приводящих к сенсибилизационному увеличению интенсивности люминесценции. Также, аналогично [19], отметим регистрацию с достаточно большой интенсивностью полос люминесценции ионов Eu^{3+} при длинах волн в области > 750 нм, соответствующих $^5D_0 \rightarrow {}^7F_{5,6}$ электронным переходам. Интенсивность узких полос люминесценции значительно увеличивается при возбуждении излучением с длинами волн 395 нм, 466 нм и 520 нм, соответствующих максимумам наиболее интенсивных полос в спектре поглощения ионов Eu^{3+}.

В спектрах возбуждения люминесценции (рисунок 6), зарегистрированных для максимумов полос люминесценции ионов Eu^{3+}, наблюдаются интенсивные узкие полосы, положение

которых совпадает с положением полос в спектре поглощения ионов европия (III). Они соответствуют переходам электронов из основного $^7F_0$ в возбужденные энергетические состояния ионов Eu^{3+}. При длинах волн < 320 нм зарегистрирована сложная широкая полоса. Ее длинноволновые компоненты (> 280 нм) связаны с переносом колебательной энергии кислородсодержащей матрицы на уровни ионов Eu^{3+} [27]. Коротковолновые компоненты полосы (< 280 нм) связаны с переходом электронов с заполненной 2p-орбитали ионов O^{2-} на частично заполненную 4*f*-орбиталь ионов Eu^{3+} [28, 29]. При сопоставлении коротковолновой части спектров, приведенных на рисунке 6 и на вставке к рисунку 6, отмечено кратное увеличение интенсивности полос. Полосу в спектрах возбуждения, ниспадающая ветвь которой проявляется при длинах волн < 250 нм (рисунок 6), совпадающую с областью поглощения в спектре диффузного отражения $Eu_3Ga_5O_{12}$, связываем с глубинным межзонным переходом в галлате европия.

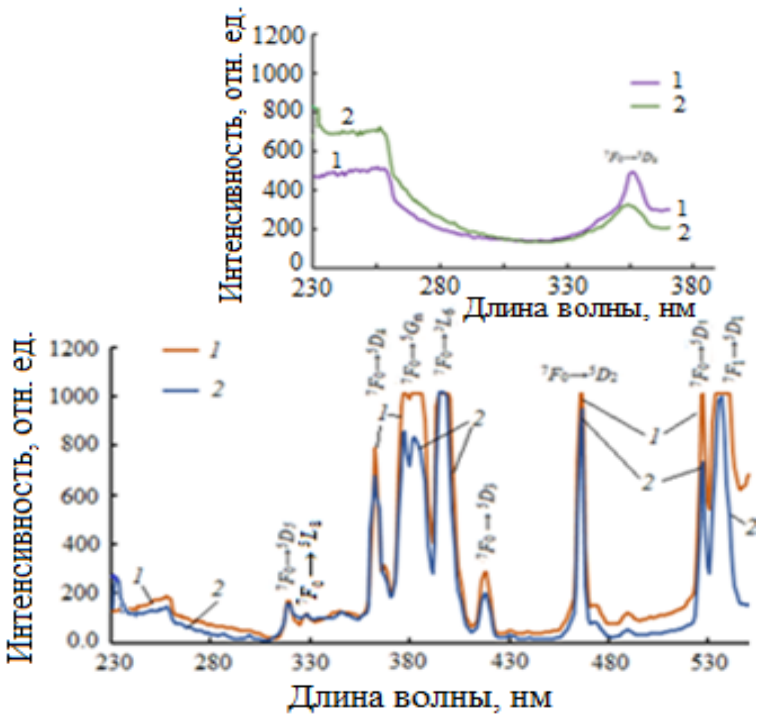


Рисунок 6 – Спектры возбуждения люминесценции для люминесценции с длинами волн 592 нм (*1*) и 697 нм (*2*); вставка: спектры возбуждения люминесценции для люминесценции с длинами волн 440 нм (1) и 470 нм (2)

Figure 6 – Luminescence excitation spectra for luminescence with wavelengths of 592 nm (1) and 697 nm (2); insertion: luminescence excitation spectra for luminescence with wavelengths of 440 nm (1) and 470 nm (2)

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате работы получен галлат европия состава $Eu_3Ga_5O_{12}$ при более мягких условиях синтеза, относительно описанных в литературе. Анализ зависимостей электрического сопротивления от частоты тока, зарегистрированных при различной температуре, указывает на проявление $Eu_3Ga_5O_{12}$ полупроводниковых свойств. Этот результат подтверждается регистрацией в спектрах наряду с узкими полосами люминесценции ионов Eu^{3+} широкой полосы с максимумом в области 450 нм. Ее появление связано с рекомбинационными процессами, происходящими на уровнях дефектов структуры $Eu_3Ga_5O_{12}$ при дезактивации возбужденных состояний, сопровождающимися выделением квантов излучения. В области длин волн < 320 нм в спектре возбуждения зарегистрированы сложная полоса, отнесенная к обменным энергетическим процессам между матрицей и ионами Eu^{3+}, а также при длинах волн < 250 нм полоса межзонного энергетического перехода в галлате европия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портной К.И., Тимофеева Н.И. Кислородные соединения редкоземельных элементов. М. : Металлургия, 1986. 480 с.

2. Middleton R.C., Muthu D.V.S., Kruger M.B. High-pressure spectroscopic studies of europium gallium and gadolinium aluminum garnets // Solid State Communications. 2008. V. 148, № 7-8. P. 310–313. doi: 10.1016/j.ssc.2008.09.002.

3. Study of the relationship between crystal structure and luminescence in rare-earth-implanted Ga_2O_3 nanowires during annealing treatments / I. Lopez [et al.]. // Journal of Materials Science. 2014.

V. 49, № 3. P. 1279–1285. doi: 10.1007/s10853-013-7811-x.

4. Boulon G. Fifty years of advances in solid-state laser materials // Optical Materials. 2012. V. 34, № 3. P. 499–512. doi: 10.1016/j.optmat.2011.04.018.

5. Кристаллическая структура и магнитные свойства твердых растворов $Gd_{1-x}La_xMO_3$ (M = Sc, In, Ga) / И.Н. Кандидатова [и др.]. // Труды БГТУ. № 3. Химия и технология неорганических веществ. 2013. № 3. С. 43–48.

6. Brusset H., Gillier-Pandraud H., Saine M.C. Etude de gallo-aluminates de lanthanides // Bulletin de la Societe chimique de France. 1969. V. 8. P. 2244–2249.

7. Kestigian M., Smith A.B., Bekebrede W.R. Past, present and future small-bubble-diameter magnetic memory materials // Journal of Applied Physics. 1979. V. 50, № B3. P. 2161–2166. https://doi.org/10.1063/1.327039.

8. Pressure-induced structural evolution and amorphization in $Eu_3Ga_5O_{12}$ / C.L. Lin [et al.]. // Journal of Applied Physics. 2013. V. 114, № 16. P. 163521 (1–7). https://doi.org/10.1063/1.4827836.

9. Synthesis and Luminescent Properties of $Lu_3Ga_5O_{12}:RE^{3+}$ (RE = Eu, Tb, Pr) Nanocrystalline Phosphors via Sol-Gel Process / X. Liu [et al.]. // J. Electrochem. Soc. 2008. V. 155, № 3. P. 21–27. doi: 10.1149/1.2825138.

10. Nanocrystalline lanthanide-doped $Lu_3Ga_5O_{12}$ garnets: interesting materials for light-emitting devices / V. Venkatramu [et al.]. // Nanotechnology. 2010. V. 21, № 17. P. 175703. doi: 10.1088/0957-4484/21/17/175703.

11. Structural, elastic and vibrational properties of nanocrystalline lutetium gallium garnet under high pressure / V. Monteseguro [et al.]. // Phys. Chem. Chem. Phys. 2015. V. 17, № 14. P. 9454–9464. doi: 10.1039/c4cp05903d.

12. Способ получения галлатов неодима $NdGaO_3$, $Nd_5Ga_3O_{12}$ и $Nd_4Ga_2O_9$: пат. 2721700 Рос. Федерация № 2019126486 ; заявл. 20.08.2019; опубл. 21.05.2021, Бюл. № 15. 10 с.

13. Бусев А.И., Типцова В.Г., Иванов В.М. Практическое руководство по аналитической химии редких элементов. М. : Химия, 1966. 410 с.

14. Измерение массы, объема и плотности / С.И. Гаузнер [и др.]. М. : Изд-во Стандартов, 1972. 623 с.

15. Актаком. Прецизионный измеритель RLC AM-3016. – URL: https://www.aktakom.ru/kio/index.php?SECTION_ID=2116&ELEMENT_ID=11289668 (дата обращения: 18.12.2023).

16. Васильев И. Особенности измерения удельного и поверхностного сопротивления четырехзондовым методом // Вектор высоких технологий. 2020. №. 2(47). С. 54–61.

17. Смагин В.П., Худяков А.П. Влияние условий синтеза на люминесценцию европийсодержащих композиций на основе оксида и оксифторидов иттрия // Неорганические материалы. 2019. Т. 55, № 1. С. 67–79. doi: 10.1134/S0002337X19010147.

18. Taylor D. Thermal Expansion Data: III Sesquioxides, M_2O_3, with the corundum and the A-, B- and C-M_2O_3 structures // Trans. J. Br. Ceram. Soc. 1984. V. 83. P. 92–98.

19. Колесников И.Е. Исследование люминесцентных свойств оксидных нанокристаллических порошков, легированных ионами европия: дис. … канд. физ-мат. наук. Санкт-Петербург, 2015. 134 с.

20. Шека И.А., Чаус И.С., Митюрева Т.Т. Галлий. Киев : Гостехиздат УССР, 1963. 296 с.

21. Влияние гранулометрического состава прекурсоров на синтез кальций-алюминатных фаз / М.А. Трубицын [и др.]. // Журнал прикладной химии. 2023. Т. 96, № 3. С. 269–281. doi: 10.31857/S0044461823030052.

22. Eu^{3+} - Doped $Ln_3Al_5O_{12}$ (Ln = Er, Tm, Yb, Lu) garnets: Synthesis, characterization and investigation of structural and luminescence properties / L. Pavasaryte [et al.]. // Journal of Luminescence. 2019. V. 212. P. 14–22. doi: 10.1016/ j.jlumin.2019.04.005.

23. Паташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. М. : Наука, 1982. 382 с.

24. Гуфан Ю.М. Фазовые переходы второго рода // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 7. 109–115.

25. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М. : Энергоатомиздат, 1985. 392 с.

26. Crystal growth of Ln_3GaO_6 (Ln = Nd, Sm, Eu and Gd): Structural and optical properties / W.G. Zeier [et al.]. // Solid State Sciences. 2009. V. 11. P. 1965–1970. doi: 10.1016/j.solidstatesciences.2009.07.004.

27. Уклеина И.Ю. Оксифториды иттрия и РЗЭ: синтез, люминесценция и оптика: дис. … канд. хим. наук. Ставрополь : СтГУ, 2005. 158 с.

28. Ćirć A., Stojadinović S. Structural and photoluminescence properties of Y_2O_3 and $Y_2O_3:Ln^{3+}$ (Ln = Eu, Er, Ho) films synthesized by plasma electrolytic oxidation of yttrium substrate // Journal of Luminescence. 2020. V. 217. P. 116762. doi: 10.1016/j.jlumin.2019.116762.

29. Synthesis and fabrication of $Y_2O_3:Tb^{3+}$ and $Y_2O_3:Eu^{3+}$ thin films for electroluminescent applications: Optical and structural characteristics / G. Alarcón-Flores [et al.]. // Materials Chemistry and Physics. 2015. V. 149–150. P. 34–42. doi: 10.1016/j.matchemphys.2014.09.020.

Информация об авторах

А. Б. Рошколаева – магистрант кафедры физической и неорганической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

В. А. Новоженов – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры физической и неорганической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

В. П. Смагин – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, институт химии и химико-фармацевтических

технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

И. А. Шмаков – старший преподаватель кафедры вычислительной техники и электроники, институт цифровых технологий, электроники и физики, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

Л. В. Затонская – кандидат химических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

Н. Е. Стручева – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физической и неорганической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

О. В. Белова – ведущий инженер кафедры физической и неорганической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет.

REFERENCES

1. Portnoy, K.I. & Timofeeva, N.I. (1986). Oxygen compounds of rare earth elements. Moscow: Metallurgy. (In Russ.).

2. Middleton, R.C., Muthu, D.V.S. & Kruger, M.B. (2008). High-pressure spectroscopic studies of europium gallium and gadolinium aluminum garnets // *Solid State Communications*, 148(7-8), 310–313. doi: 10.1016/j.ssc.2008.09.002.

3. Lopez, I., Lorenz, K., Nogales, E., Mendez, B., Piqueras, J., Alves, E. & García, J.A. (2014). Study of the relationship between crystal structure and luminescence in rare-earth-implanted Ga_2O_3 nanowires during annealing treatments // *Journal of Materials Science*, 49(3), 1279-1285. doi: 10.1007/s10853-013-7811-x.

4. Boulon, G. (2012). Fifty years of advances in solid-state laser materials // *Optical Materials*, 34(3), 499–512. doi: 10.1016/j.optmat.2011.04.018.

5. Kandidatova, I.N., Bashkirov, L.A., Galjas, A.I., Lobanovskii, L.S. & Truhanov, S.V. (2013). Crystal structure, and magnetic properties of $Gd_{1-x}La_xMO_3$ (M = Sc, In, Ga) solid solutions // *Proceedings of BSTU. Issue 3 : Chemistry and technology of inorganic substances*, (3), 43–48. (In Russ.).

6. Brusset, H., Gillier-Pandraud, H. & Saine, M.C. (1969). Etude de gallo-aluminates de lanthanides // *Bulletin de la Societe chimique de France*, (8), 2244–2249.

7. Kestigian, M., Smith, A.B. & Bekebrede, W.R. (1979). Past, present and future small-bubble-diameter magnetic memory materials // *Journal of Applied Physics*, 50(B3), 2161–2166. https://doi.org/10.1063/1.327039.

8. Lin, C.L., Li, Y.C., Li, X.D., Li, R., Lin, J.F. & Liu J. (2013). Pressure-induced structural evolution and amorphization in $Eu_3Ga_5O_{12}$ // *Journal of Applied Physics*, 114(16), 163521 (1–7). https://doi.org/10.1063/1.4827836.

9. Liu, X., Zhu, L., Wang, L., Yu, C. & Lin, J. (2008). Synthesis and Luminescent Properties of $Lu_3Ga_5O_{12} : RE^{3+}$ (RE = Eu, Tb, Pr) Nanocrystalline Phosphors via Sol-Gel Process // *J. Electrochem. Soc.*, 155(3), 21–27. doi: 10.1149/1.2825138.

10. Venkatramu, V., Giarola, M., Mariotto, G., Enzo, S., Polizzi, S., Jayasankar, C.K., Piccinelli, F., Bettinelli, M. & Speghini, A. (2010). Nanocrystalline lanthanide-doped $Lu_3Ga_5O_{12}$ garnets: interesting materials for light-emitting devices // *Nanotechnology*, 21(17), 175703. doi: 10.1088/0957-4484/21/17/175703.

11. Monteseguro, V., Rodriguez-Hernandez, P., Ortiz, H.M., Venkatramu, V., Manjon, F.J., Jayasankar, C.K., Lavin, V. & Munoz, A. (2015). Structural, elastic and vibrational properties of nanocrystalline lutetium gallium garnet under high pressure // *Phys. Chem. Chem. Phys*., 17(14), 9454–9464. doi: 10.1039/c4cp05903d.

12. Novozhenov, V.A. & Belova, O.V. (2021). Method of producing neodymium gallates $NdGaO_3$, $Nd_5Ga_3O_{12}$ and $Nd_4Ga_2O_9$. *Pat. 2721700. Russian Federation, published on 21.05.2021*. Bull. №. 15. (In Russ.).

13. Busev, A.I., Tiptsova, V.G. & Ivanov, V.M. (1966). Practical guide to analytical chemistry of rare elements. Moscow: Chemistry. (In Russ.).

14. Gauzner, S.I., Kivilis, S.S., Osokina, A.P. & Pavlovsky, A.N. (1972). Measurement of mass, volume and density. Moscow: Publishing house of standards. (In Russ.).

15. Aktakom. Precision meter RLC AM-3016. Retrieved from https://www.aktakom.ru/kio/index.php?SECTION_ID=2116&ELEMENT_ID=11289668. (In Russ.).

16. Vasiliev, I. (2020). Features of measuring the resistivity and surface resistance by four-point probe method // *Hi-Tech Vector*, 2(47), 54–61.

17. Smagin, V.P. & Khudyakov, A.P. (2019). Effect of synthesis conditions on the luminescence of europium-containing materials based on yttria and yttrium oxyfluorides // *Inorganic materials*, 55(1), 64–76. (In Russ.). doi: 10.1134/S002016851901014X.

18. Taylor, D. (1984). Thermal Expansion Data: III Sesquioxides, M_2O_3, with the corundum and the A-, B- and C-M_2O_3 structures // *Trans. J. Br. Ceram. Soc., (*83), 92–98.

19. Kolesnikov, I.E. (2015). Understanding the luminescence properties of oxide nanocrystalline powders doped with europium ions. Candidate of Physical and Mathematical Sciences dissertation. Saint Petersburg. (In Russ.).

20. Sheka, I.A., Chaus, I.S. & Mityureva, T.T. (1963). Gallium. Kyiv: Gostekhizdat of the Ukrainian SSR. (In Russ.).

21. Trubitsyn, M.A., Furda, L.V., Yapryntsev, M.N., Volovicheva, N.A. & Mikhailyukova, M.O. (2023). Impact of Precursor Granulometry on the Synthesis of Calcium-Aluminate Phases // *Russian Journal of Applied Chemistry*, 96(3). (In Russ.).

22. Pavasaryte, L., Katelnikovas, A., Momot, A., Reekmans, G., Hardy, A., Van Bael, M., Adriaensens, P., Yang, T.C.K. & Kareiva, A. (2019). Eu^{3+} - Doped $Ln_3Al_5O_{12}$ (Ln = Er, Tm, Yb, Lu) garnets: Synthesis, characterization and investigation of structural and luminescence properties. *Journal of Luminescence*, (212), 14–22. doi: 10.1016/j.jlumin.2019.04.005.

23. Patashinskii, A.Z. & Pokrovskii, V.L. (1982). Fluctuation theory of phase transitions. Moscow: Nauka. (In Russ.).

24. Gufan, Yu.M. (1997). Second order phase transitions // *Soros Educational Journal*, (7), 109–115. (In Russ.).

25. Shalimova, K.V. (1985). Physics of Semiconductors. Moscow: Energoatomizdat. (In Russ.).

26. Zeier, W.G., Roof, I.P., Smith, M.D. & Loye H.-C. (2009). Crystal growth of Ln_3GaO_6 (Ln = Nd, Sm, Eu and Gd): Structural and optical properties // *Solid State Sciences*, (11), 1965–1970. doi: 10.1016/j.solidstatesciences.2009.07.004.

27. Ukleina, I.Yu. (2005). Yttrium and lanthanide oxyfluorides: synthesis, luminescence and optical properties. (In Russ.).

28. Ćirć, A. & Stojadinović, S. (2020). Structural and photoluminescence properties of Y_2O_3 and Y_2O_3:Ln^{3+} (Ln = Eu, Er, Ho) films synthesized by plasma electrolytic oxidation of yttrium substrate. *Journal of Luminescence*, (217), 116762. doi: 10.1016/j.jlumin.2019.116762.

29. Alarcón-Flores, G., García-Hipólito, M., Aguilar-Frutis, M., Carmona-Téllez, S., Martinez-Martinez, R., Campos-Arias, M.P., Zaleta-Alejandre, E. & Falcony, C. (2015). Synthesis and fabrication of Y_2O_3:Tb^{3+} and Y_2O_3:Eu^{3+} thin films for electroluminescent applications: Optical and structural characteristics. *Materials Chemistry and Physics*, 149–150, 34–42. doi: 10.1016/j.matchemphys.2014.09.020.

Information about the authors

A. B. Roshkolaeva – student of the Department of Physical and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

V. A. Novozhenov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

V. P. Smagin – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

I. A. Shmakov – senior lecturer of the Department of Computing Techniques and Electronics, Institute of Digital Technology, Electronics and Physics, Altai State University.

L. V. Zatonskaya – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

N. Y. Strucheva – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

O. V. Belova – lead engineer of the Department of Physical and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.
The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 223–227.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 223–227.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 621.793: 621.785: 539.234
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.032 EDN: EFPKWN

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО НАНЕСЕНИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН

Михаил Владимирович Пашков [1], Равиль Миргалимович Хисамутдинов [2]

[1] ПАО «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия
[2] «Набережночелнинский институт (филиал) КФУ», Набережные Челны, Россия
[1] mikh-pashkov@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-9389-2585
[2] sunniwind43@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-5107-4419

Аннотация. *В статье рассматривается технология нанесения легированного алмазоподобного покрытия методом реактивного магнетронного распыления легирующих металлов в смеси ацетилен-азот. В качестве легирующих элементов использовались хром, титан, кремний, а также рассмотрены особенности нанесения данных элементов на металлические подложки. Описана конструкция установки для нанесения покрытия. Проведен анализ влияния атмосферы рабочей зоны на результаты работы. Определены фазы гидрогенизированного аморфного углерода, указывающие на наличие нанокомпозитной структуры в полученных покрытиях. Определены методы испытаний полученных легированных алмазоподобных покрытий. Приведен анализ взаимосвязи структуры и механических свойств АПП. Определена зависимость работоспособности легированных алмазоподобных покрытий от чистоты рабочих газов, а также влияние содержания азота в смеси ацетилен- азот. Проведен анализ величин коэффициентов трения покрытий при разных составах реактивной атмосферы.*

Ключевые слова: *алмазоподобные покрытия, износостойкость, трибология, способы нанесения покрытий, нанокомпозиты.*

Для цитирования: Пашков М. В., Хисамутдинов Р. М. Технологические решения по нанесению специальных покрытий для повышения износостойкости деталей и узлов машин/ // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 223 – 227. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.032, EDN: https://elibrary.ru/EFPKWN.

Original article

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR APPLYING SPECIAL COATINGS TO INCREASE WEAR RESISTANCE OF MACHINE PARTS AND COMPONENTS

Mikhail V. Pashkov [1], Ravil M. Khisamutdinov [2]

[1] PJSC KAMAZ, Naberezhnye Chelny, Russia
[2] Naberezhnye Chelny Institute of KFU, Naberezhnye Chelny, Russia
[1] mikh-pashkov@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-9389-2585
[2] sunniwind43@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-5107-4419

Abstract. *The article deals with the technology of doped diamond-like coating by reactive magnetron sputtering of alloying metals in acetylene-nitrogen mixture. As alloying elements were used: chromium, titanium, silicon, the features of deposition of these elements on metal substrates are considered. The design of the coating unit is described. The influence of the atmosphere of the working zone on the results of the work is analyzed. Phases of hydrogenated amorphous carbon, indicating the presence of nanocomposite structure in the obtained coatings, are determined. The methods of testing of the ob-*

© Пашков М. В., Хисамутдинов Р. М., 2024

tained doped diamond-like coatings are determined. An analysis of the relationship between the structure and mechanical properties of APP is given. The relationship between the performance of doped diamond-like coatings and the purity of working gases, as well as the influence of the nitrogen content in the acetylene-nitrogen mixture has been determined. The values of friction coefficients of coatings at different compositions of reactive atmosphere were analyzed.

Keywords: *diamond-like coating, wear resistance, tribology, coating methods, nanocomposites*

For citation: M. V. Pashkov & R. M. Khisamutdinov, (2024). Technological solutions for applying special coatings to increase wear resistance of machine parts and components. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 223-227. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.032. EDN: https://elibrary.ru/EFPKWN.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение высоких антифрикционных свойств деталей и узлов автомобиля является актуальной задачей. Перспективным направлением является применение функциональных легированных алмазоподобных покрытий [1-6]. Методы получения подобных покрытий основываются на физических и химических процессах с применением различных легирующих металлов, а также в соответствующей газовой среде [7-10]. Все покрытия, результаты исследования которых описаны в данной статье, были получены методом реактивного магнетронного напыления. Схема использованной для их получения напылительной установки представлена на рис. 1. Особенности технологии напыления легированных алмазоподобных покрытий описаны, например, в [11].

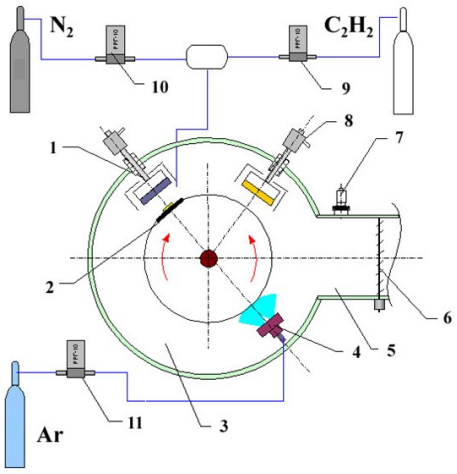


Рисунок 1– Схема установки напыления: 1 – магнетрон; 2 – держатель образцов; 3 – камера; 4 –источник ионов для очистки; 5 – откачка; 6 – заслонка; 7 – датчик; 8 – магнетрон; 9, 10, 11 – регуляторы-расходомеры

Figure 1– Sputtering installation diagram: 1 – magnetron; 2 – sample holder; 3 – chamber; 4 –ion source for cleaning; 5 – pumping; 6 – elephant; 7 – sensor; 8 – magnetron; 9, 10, 11 – flowmeters

МЕТОДЫ

Нанесение алмазоподобного покрытия (АПП) легированного хромом делилось на несколько стадий (а именно три).

Первая стадия (подготовка подложки): ионная очистка с последующей бомбардировкой ионами аргона.

Вторая стадия - создание подслоя из хрома. Благодаря этой операции происходит улучшение адгезии покрытия с подложкой (до 0,5 мкм).

Третья стадия – нанесение основного слоя АПП (до 3 мкм).

Подготовка образцов проводилась так, что для нанесения покрытия и обеспечения заданных свойств АПП торец образца полировался до Ra=0,06.

Катодом выступал хром с чистотой (99, 95 %).

Важным фактором являлось исследование влияния атмосферы в рабочей зоне и ее влияние на конечный результат. Так атмосфера представляла собой смесь чистых газов: аргон, азот, ацетилен. При этом менялось соотношение ацетилена и азота.

Непосредственно перед напылением образцы были промыты ацетоном.

В случае покрытий, легированных кремнием и титаном, второй этап технологического процесса, связанный с нанесением промежуточного металлического подслоя, отсутствовал. Эти покрытия наносились непосредственно на поверхность стальной подложки, предварительно подвергшейся ионной очистке.

В процессе исследования свойств покрытия проводили анализ взаимосвязи структуры и механических свойств АПП.

В ряде случаев для повышения точности фазового анализа проводили также съемку в асимметричной геометрии при углах падения рентгеновского пучка ~ 1…2º. на рентгеновском дифрактометре Empyrean, Malvern Panalytical.

Дальнейшие трибологические испытания покрытий проводились по схеме «сфера-диск». Принципиальная схема прибора приведена на рисунке 2. При испытаниях использовали стальные образцы цилиндрической формы с покрытием диаметром 30–35 и толщиной 3.5 мм. Контртелом при проведении описываемых в данном разделе испытаниях служила сфера из нитрида кремния. Образец вращался со скоростью 100 об/мин. Продолжительность эксперимента 60 минут (max 6000 циклов), рассчитанное по Герцу давление в диапазоне 0,02-0,2 Н, меняется при этом от 290 до 620 МПа, соответственно).

Эксперимент проводился на воздухе.

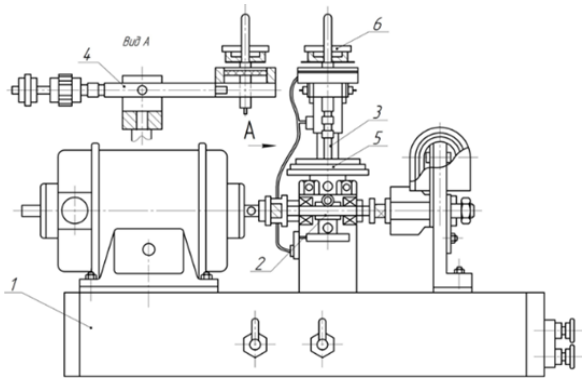


Рисунок 2 (а)– конструкция установки

Figure 2 (a)– installation design

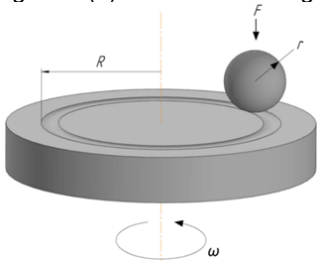


Рисунок 2 (б) – схема испытания на трибометре

Figure 2 (b) – tribometer test circuit

РЕЗУЛЬТАТЫ

Суть эксперимента заключалась в определении зависимости силы трения и длительности эксперимента. Экспериментальный образец (5) закрепляется в специальном зажимном приспособлении, которому посредством червячной пары (2) передается вращение. Контртело (3) закреплено неподвижно на консоли (4) где установлен тензометрический датчик, который и фиксирует изменение силы трения. Давление на экспериментальный образец производится через грузики (6). Изменение в значении силы трения говорит о начале процесса разрушения АПП. В результате эксперимента были построены диаграммы, отображающие изменение силы трения и количества отборов образца. Обороты можно перевести во временную шкалу, таким образом будет определена зависимость во времени. Пример диаграммы представлен на рисунке 3.

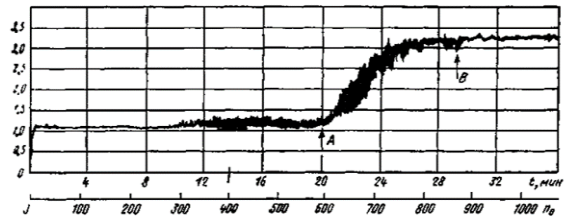


Рисунок 3 – Трибограмма испытания образцов при испытаниях на шариковом трибометре

Figure 3 – Tribogram of the test samples during tests on a ball tribometer

После изучения полученных диаграмм были выделены две критические точки, характеризующие начало и конец процесса интенсивного разрушения АПП, при котором наблюдается многократное увеличение силы трения. При прохождении второго пика процесс стабилизируется. В качестве критерия продолжительности эксперимента рекомендуется принимать второй пик (точка 2). Для определения закономерностей была проведена серия экспериментов с изменением величины нагрузки.

Результаты комплексного изучения структурно-фазового состояния ряда покрытий хрома, титана и кремния, полученных магнетронным распылением в атмосферах аргон-ацетилен-азот и исследованных ранее [11, 12, 13], представлены в таблицах 1–3, в которых приводятся данные о фазовом составе и размере областей когерентного рассеяния, полученные в результате рентгендифракционных исследований. Приведенные данные о наличии/отсутствии в составе конкретных покрытий аморфного углерода получены на основе изучения соответствующих спектров комбинационного рассеяния.

Таблица 1 – Характеристики АПП легированных хромом

Table 1 – Characteristics of chromium-doped applications

Фазовый состав	C_2H_2, об. %	N_2, об. %	D_{CrCx}, нм	D_{CrNx}, нм	D_{Cr}, нм
$Cr_{23}C_6$+Cr + *a*-C:H	100	0	1,4	–	8
$Cr_{23}C_6$+Cr + *a*-C:H	80	20	1,6	–	9
Cr_7C_3+Cr_2N+ Cr + *a*-C:H	60	40	3,3	1,7	11
Cr_7C_3+CrN+ Cr + *a*-C:H	40	60	3,2	2,8	11
Cr_3C_2+CrN+ Cr + *a*-C:H	20	80	2,7	4,2	13

Таблица 2 – Характеристики АПП легированных титаном

Table 2 – Characteristics of titanium-doped applications

Фазовый состав покрытий	C2H2, об. %	N2, об. %	DTirC, нм	DTiN, нм	DTiOx, нм
(TiO1,20)3,12 + TiC + a-C:H	80	20	1-4	–	1-2
TiO + TiN + a-C:H	60	40	–	3-7	2-7
Ti3O5 + TiO0.34N0,74 + a-C:H	40	60	–	8-20	4-23
TiO + TiN + β-C3N4 + a-C:H	20	80	–	2-15	1-3

Следует отметить, что исходно все покрытия получали при тех же составах реактивной атмосферы, что и покрытия a-C:H:Cr:N (табл. 1), однако,

из-за наличия значительных внутренних напряжений, некоторые покрытия, легированные титаном и кремнием, разрушались через короткое время после их извлечения из вакуумной камеры, в которой происходило напыление. Это не позволило провести исследование их структурного состояния и функциональных свойств, поэтому в таблице 2 и 3 приведены только данные по покрытиям, где такое исследование было проведено.

Таблица 3 – Характеристики АПП легированных кремнием

Table 3 – Characteristics of silicon-doped applications

Фазовый состав покрытия	C2H2, об.%	N2, об.%	DSi, нм	DSiX, нм
SiC + Si + a-C:H	60	40	52	15
SiO2 + Si	20	80	46	20
a-Si3N4 + Si	0	100	42	11

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенные данные свидетельствуют о наличии во всех исследованных покрытиях нанокомпозитной структуры. При этом фаза гидрогенизированного аморфного углерода (a-C:H), указывающая на алмазоподобную структуру покрытий, наблюдалась во всех покрытиях, легированных хромом и титаном, и только в одном покрытии, легированном кремнием (при отношении C2H2: N2, равном 3:2).

В покрытиях хрома среди наноразмерных частиц, армирующих аморфную углеродную матрицу, наблюдали включения, как чистого хрома (размером 10-15 нм), так и его карбидных и нитридных фаз с характерным размером на порядок ниже, чем у металлических включений. В покрытиях на основе титана наблюдались наноразмерные включения на основе всех трех фаз внедрения титана – оксидные, нитридные и карбидные. При этом карбид титана TiC был представлен только в покрытии, напыленном в атмосфере, содержащей 80 об. % ацетилена. Все прочие покрытия содержали только нитрид титана и его оксидные фазы. Выделения металлического титана в этих покрытиях отсутствовали.

Наконец, в кремниевом покрытии, полученном в атмосфере, содержащей 60 об. % ацетилена имелись включения кремния и SiC, характерные размеры которых соотносились примерно, как 3:1 (табл. 3). Поскольку коэффициент трения этих покрытий был достаточно высоким, в работе [12] был сделан вывод, что фаза карбида кремния в покрытиях этого состава является преобладающей.

Таким образом, экспериментальные данные об особенностях трибологического поведения, содержащие легирующие добавки и алмазоподоный углерод покрытий, следует рассматривать с учетом сведений об их структурно-фазовом состоянии, приводимых в табл. 1–3.

ВЫВОДЫ

В результате проведения комплексных лабораторных исследований, выбраны для дальнейшего изучения АПП легированные хромом, титаном и кремнием. При проведении лабораторных исследований данных АПП получено:

1. Легированные хромом АПП являются нанокомпозитными. Аморфный углерод играет роль матричной фазы.

2. В легированных хромом АПП, при трении всухую на воздухе, работоспособность покрытий, полученных в чистом ацетилене наиболее высокая, и снижается с увеличением содержания азота в смеси ацетилен-азот. Одновременно с этим снижением работоспособности покрытий при этом происходит улучшение их антифрикционных свойств.

3. Данная технология, использующая для получения легированных алмазоподобных покрытий реактивное магнетронное распыление хрома, в данный момент является наиболее отработанной.

4. Полученные реактивным магнетронным распылением в смеси ацетилен-азот легированные титаном покрытия имеют нанокомпозитную структуру, в которой представлены алмазоподобный углерод и стехиометрические и нестехиометрические фазы оксидов и нитридов титана в различных сочетаниях. Карбид титана при этом присутствовал только в одном покрытии, полученном в смеси, содержащей 80 об. % ацетилена.

5. Величина коэффициента трения легированных титаном покрытий, испытанных в условиях сухого трения на воздухе была достаточно низкой, составляла порядка 0,2–0,3 во всем диапазоне исследованных составов реактивной атмосферы и практически не изменялась от испытываемой нагрузки. АПП сохраняли свою работоспособность на всем протяжении эксперимента.

6. Большой интерес вызывают АПП с внедрением титана, однако для дальнейшего улучшения и оптимизации их трибологических характеристик, в частности, снижения коэффициента трения, требуются дополнительные исследования, направленные на отработку технологии их получения и оптимизацию состава.

7. Из легированных кремнием покрытий, в условиях проведенных лабораторных работ одно покрытие содержало углерод в алмазоподобном состоянии. Наряду с аморфным углеродом в нем присутствовали наноразмерные области со структурой карбида кремния и чистый кремний.

8. Данное покрытие было работоспособно в течение всего цикла трибологических испытаний, однако имело коэффициент трения на уровне 0,35, что объясняется близким эквиатомному SiC составом данного покрытия, тогда, как известно, что высокими антифрикционными

свойствами обладают покрытия с содержанием кремния порядка 15 ат. %.

9. Получить подобнее покрытия без оптимизации имеющейся технологии их нанесения оказалось невозможно, поскольку покрытия, полученные в богатой ацетиленом атмосфере с содержанием его более 60 об. % обладали высоким уровнем внутренних напряжений и после их напыления быстро разрушались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федотова А.М. Амазоподобные покрытия: технологии и применение // Уральский научный вестник. – 2023.– Т. 5, № 9. – С. 308-313.

2. Гончаров В.К., Гусаков Г.А., Пузырев М.В. Осаждение защитных наноструктурированных алмазоподобных углеродных покрытий на алюминиевые сплавы // Инженерно-физический журнал. – 2022. – Т. 95, № 3. –С. 706-712.

3.. Буяновский И.А., Левченко В.А., Самусенко В.Д., Большаков А.Н. Легирование алмазоподобных углеродных покрытий трущихся тел как метод повышения антифрикционных свойств смазочных сред //Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2021. – № 6. – С. 52-60.

4. Зур И.А., Шманай Е.Е., Федотова Ю.А., Харченко А.А., Мовчан С.А. Влияние толщины на удельное электросопротивление тонких покрытий из алмазоподобного углерода на кремнии // Физика твердого тела.– 2023. – Т. 65, № 1. – С. 49-55.

5. Владимиров А.Б., Рубштейн А.П., Плотников С.А., Пушкарь С.С. Нанокомпозитные покрытия с алмазоподобным углеродом- материал для дентальных и ортопедических имплантатов // Materials. Technologies. Design. – 2021. – Т. 3, № 3(5). – С. 46-48.

6. Grigoriev S.N., Volosova M.A., Fyodorov S.V., Mustafaev E.S. SI-containing diamond-like carbon coatings to improve the wear resistance of solid ceramic end mills // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 1954, p. 012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1954/1/012010.

7. Николаева Д.В., Генералов Д.В., Паршин Б.А., Макеев М.О. Исследование физических свойств углеродных алмазоподобных покрытий, нанесенных методом импульсного лазерного осаждения // Вестник 152 Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. – 2020. – № 3. –С. 53-64.

8. Хрущов М.М., Суляндзига Д.А., Авдюхина В.М., Левин И.С., Самусенко В.Д. Покрытия вольфрама и молибдена с алмазоподобным углеродом, полученные магнетронным распылением- структурно-фазовое состояние и трибологические свойства // Полимерные композиты и трибология. Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Гомель, 2022. – С. 167.

9. Zia A.W., Birkett M. Deposition of diamond-like carbon coatings: conventional to non-conventional approaches for emerging markets // Ceramics International. 2021, vol. 47, no. 20, pp. 28075-28085.

10. Rajak D.K., Kumar A., Behera A., Menezes P.L. Diamond-like carbon (DLC) coat-ings: classification, properties, and applications // Applied Sciences (Switzerland). 2021, vol. 11, no. 10, pp. 4445. DOI: 10.3390/app11104445.

11.Хрущов М.М., Атаманов М.В., Марченко Е.А., Петржик М.И., Левин И.С. Алмазоподобные нанокомпозитные покрытия a-C:H:Cr – структурное состояние, механические и трибологические свойства // Изв. РАН. Сер. физич. – 2014. – Т. 78. – № 10. – С.1257-1265.

12.Khrushchov M.M., Marchenko E.A., Levin I.S., Avdyukhina V.M., Kashorkin E.V., Atamanov M.V., Petrzhik M.I., Obraztsova E.A. Structure and tribological behavior of titanium-based coatings deposited by reactive magnetron sputtering // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – V. 1313. – P. 012028.

13 .Авдюхина В.М., Хрущов М.М., Левин И.С., Кашуркин Е.В., Суляндзига Д.А. Структурные особенности и функциональное поведение вакуумных покрытий, полученных реактивным магнетронным распылением кремния // Ученые записки Физического факультета МГУ. – 2020. – № 4. – С. 2040701-1–2040701-8.

Информация об авторах

М. В. Пашков– заместитель главного технолога ПАО «КАМАЗ» по научной работе и инновационным материалам, Технологического центра, ПАО «КАМАЗ».

Р. М. Хисамутдинов – Заведующий кафедрой, д.н. (доцент), Набережночелнинский институт (филиал) КФУ / Высшая техническая школа / Кафедра конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств.

Information about the authors

M. V. Pashkov– I Deputy Chief Technologist for Scientific Work and Innovative Materials Technology Center of PJSC KAMAZ.

R. M. Hisamutdinov– Head of the Department, Doctor of Technical Sciences Naberezhnye Chelny Institute of KFU

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 228–233.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 228–233.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 544.022.5:67.03
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.033 EDN: CZOHYD

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Олег Витальевич Кропотин [1], Евгений Анатольевич Рогачев [2], Екатерина Андреевна Дроздова [3], Анастасия Александровна Каленчук [4], Евгений Григорьевич Глуховеря [5]

[1, 2, 4, 5] Омский государственный технический университет, Омск, Россия
[1] kropotin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6620-9945
[2] evg.rogachev@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2622-7492
[4] sia.k98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6221-2135
[5] jon31_1992@yahoo.com, https://orcid.org/0009-0001-5864-7419

[3] ООО «ОМСКТЕХУГЛЕРОД», Омск, Россия
[3] Ea_ntk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-8099-5148

Аннотация. *Электропроводные полимерные композиционные материалы (ПКМ) с углеродными наполнителями получили широкое распространение в качестве материалов электротехнического и радиотехнического назначения. Важнейшей целевой характеристикой таких материалов является их электропроводность, которая зависит от комплекса факторов. Наиболее значимым фактором, определяющим электропроводность полимерного композиционного материала, является электропроводность наполнителя, которая во многом зависит от его структуры. Одним из наиболее распространенных наполнителей, применяемых при создании электропроводных ПКМ, является технический углерод. В работе проведен сравнительный анализ удельного электрического сопротивления и параметров, характеризующих структуру, для различных марок электропроводного технического углерода производства «Омск Карбон Групп». Проведено комплексное исследование технического углерода: проведен рентгеноструктурный анализ и электронная микроскопия, измерены удельное электрическое сопротивление, показатель абсорбции масла, площадь поверхности по многоточечной адсорбции азота, внешняя площадь поверхности по азоту. Рассчитаны следующие структурные параметры: доля площади поверхности пор ТУ диаметром менее 2 нм, коэффициент шероховатости поверхности ТУ, доля краевых углеродных атомов графеновых слоев ТУ. Установлена корреляционная связь изменений удельного электрического сопротивления ТУ и его физико-химических характеристик: показатель абсорбции масла (ДБФ), площадь поверхности по многоточечной адсорбции азота (NSA), внешняя площадь поверхности по азоту (STSA), средний размер кристаллитов вдоль графеновых слоев. Показано, что зависимость удельного электрического сопротивления от структурных параметров удовлетворительно описывается линейными регрессионными уравнениями. Полученные результаты могут быть использованы для выбора электропроводного технического углерода при создании композиционных материалов электротехнического и радиотехнического назначения.*

Ключевые слова: *электропроводный технический углерод, рентгеноструктурный анализ технического углерода, кристаллическая структура технического углерода, средний размер кристаллитов технического углерода, физико-химические характеристики технического углерода, структурность технического углерода, удельная поверхность технического углерода, удельное электрическое сопротивление технического углерода.*

Благодарности*: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSGF-2024-0003.*

Для цитирования: Зависимость электрического сопротивления от параметров кристаллической структуры и физико-химических характеристик технического углерода / О. В. Кропотин [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 228 – 233. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.033, EDN: https://elibrary.ru/CZOHYD.

© Кропотин О. В., Рогачев Е. А., Дроздова Е. А., Каленчук А. А., Глуховеря Е. Г., 2024

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Original article

DEPENDENCE OF ELECTRICAL RESISTANCE ON PARAMETERS OF THE CRYSTAL STRUCTURE AND PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF CARBON BLACK

Oleg V. Kropotin [1], Evgenii A. Rogachev [2], Ekaterina A. Drozdova [3], Anastasiia A. Kalenchuk [4], Evgeny G. Glukhoverya [5]

[1, 2, 4, 5] Omsk State Technical University, Omsk, Russia
[1] kropotin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6620-9945
[2] evg.rogachev@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2622-7492
[4] sia.k98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6221-2135
[5] jon31_1992@yahoo.com, https://orcid.org/0009-0001-5864-7419
[3] Omsk Carbon Group, Omsk, Russia
[3] Ea_ntk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-8099-5148

Abstract. *Electrically conductive polymer composite materials (PCM) with carbon fillers have become widely used as materials for electrical and radio engineering purposes. The most important target characteristic of such materials is their electrical conductivity, which depends on the complex of factors. The most significant factor determining the electrical conductivity of a polymer composite material is the electrical conductivity of the filler, which largely depends on its structure. One of the most common fillers used in the creation of electrically conductive PCMs is carbon black. The paper presents a comparative analysis of the electrical resistivity and parameters characterizing the structure for various grades of conductive carbon black produced by Omsk Carbon Group. A comprehensive study of carbon black was carried out: X-ray diffraction analysis and electron microscopy were carried out, electrical resistivity, oil absorption index, surface area for multipoint nitrogen adsorption, external surface area for nitrogen were measured. The following structural parameters were calculated: the fraction of the surface area of CB pores with a diameter of less than 2 nm, the coefficient of surface roughness of CB, the fraction of the marginal carbon atoms of CB graphene layers. A correlation has been established between changes in the electrical resistivity of CB and its physico-chemical characteristics: the oil absorption index (*DBP*), the surface area for multipoint nitrogen adsorption (NSA), the external surface area for nitrogen (STSA), the average size of crystallites along graphene layers. It is shown that the dependence of the electrical resistivity on the structural parameters is satisfactorily described by linear regression equations. The obtained results can be used to select electrically conductive carbon black when creating composite materials for electrical and radio engineering purposes.*

Keywords: *electrically conductive carbon black, X-ray structural analysis of carbon black, crystal structure of carbon black, average size of carbon black crystallites, physico-chemical characteristics of carbon black, carbon black structurality, specific surface area of carbon black, specific electrical resistance of carbon black.*

Acknowledgments: *The study was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Project No. FSGF-2024-0003.*

For citation: Kropotin, O.V., Rogachev, E.A., Drozdova, E.A., Kalenchuk, A.A. & Glukhoverya, E.G. (2024). Dependence of electrical resistance on the parameters of the crystal structure and physico-chemical characteristics of carbon black. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 228-233. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.033. EDN: https://elibrary.ru/CZOHYD.

ВВЕДЕНИЕ

Технический углерод (ТУ) широко применяется в качестве электропроводного наполнителя при создании композиционных материалов (композитов), в том числе электротехнического и радиотехнического назначения. [1 - 6]. Рациональный выбор марки ТУ при проектировании композита осуществляется с учетом физико-химических свойств и структуры наполнителя, которые определяют эксплуатационные характеристики композита и, прежде всего, его электропроводность. В качестве значимых характеристик ТУ, которые определяют его собственную электропроводность и электрофизические свойства композита, обычно рассматривают степень структурированности (структурность) ТУ, размеры и степень упорядоченности кристаллитов; свойства поверхности ТУ [1, 2, 7 - 11]. Указанные параметры, в свою очередь, определяются условиями получения и хранения ТУ. Выявление и комплексный анализ взаимосвязи электропроводности ТУ и его структурных параметров имеют важное значение при разработке электропроводных полимерных композитов и создании новых высокоэффективных марок ТУ.

Целью данного исследования является установление взаимосвязи между удельным электрическим сопротивлением и структурными параметрами электропроводных марок ТУ производства «Омск Карбон Групп».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе исследовались электропроводные марки ТУ серии OMCARB производства «Омск Карбон Групп»: С140, СН85, СН600 и экспериментальная марка (условное обозначение СНХ), находящаяся в стадии разработки. Исследуемые марки ТУ характеризуются различными значениями общей площади поверхности по многоточечной адсорбции азота, поэтому их сравнение позволит выявить наиболее значимые структурные факторы, определяющие электропроводность ТУ.

Удельное сопротивление ТУ измеряли в соответствии с ТУ 38 11574-86.

Растровую электронную микроскопию проводили с применением микроскопа JCM-5700.

Рентгеноструктурный анализ проводили с использованием дифрактометра Shimadzu Maxima – X XRD-7000 (CuKα излучение с длиной волны 0,154 нм). Межплоскостное расстояние d_{002} определяли по формуле Вульфа-Брэгга. Средние размеры областей когерентного рассеяния (ОКР), которые интерпретируются как средние размеры кристаллитов в направлении, перпендикулярном графеновым слоям (L_c), и вдоль графеновых слоев (L_a), определяли по формулам [12]:

$$L_c = \frac{0.89\lambda}{(\beta \cdot \cos\theta)},$$

$$L_a = \frac{1.84\lambda}{(\beta \cdot \cos\theta)},$$

где λ - длина волны излучения; β – уширение дифракционного максимума, рассчитанного как ширина пика на полувысоте, с поправкой на аппаратное уширение (в качестве эталона использовали кремний); θ - брэгговский угол. Для определения L_c использовали рефлекс 002, при расчете L_a – рефлекс 10*l* [9].

Степень кристалличности Х ТУ рассчитывали, как отношение индекса кристалличности исследуемого образца к индексу кристалличности эталона (кремний) [13]:

$$X = \frac{CI}{CI_e} \times 100\%,$$

где CI – индекс кристалличности ТУ, CI_e – индекс кристалличности кремния, использованного в качестве эталона.

Индекс кристалличности CI рассчитывали как отношение интеграла модуля производной интенсивности по углу 2θ к интегралу интенсивности по углу 2θ [13]:

$$CI = \frac{\int_{2\theta=a}^{b} \left|\frac{dI}{d2\theta}\right| d2\theta}{\int_{2\theta=a}^{b} I d2\theta},$$

где a…b – диапазон сканирования по углу 2θ, I – интенсивность.

На дифрактограммах всех марок ТУ присутствуют рефлекс 002 с максимумом 2θ ≈ 24,8° и рефлекс 10*l* с максимумом 2θ ≈ 43,8°. Рефлексы с максимумами 2θ, равными примерно 37,8°; 44,1°; 64,4°, соответствуют оксидам ванадия [14], присутствие которых в ТУ обусловлено особенностями технологического процесса. Рефлексы оксидов ванадия на дифрактограммах перед проведением анализа удалялись, профиль восстанавливали кубическим сплайном. В качестве примера на рисунке 1 приведены исходная дифрактограмма ТУ С140 и дифрактограмма после удаления пиков оксида ванадия.

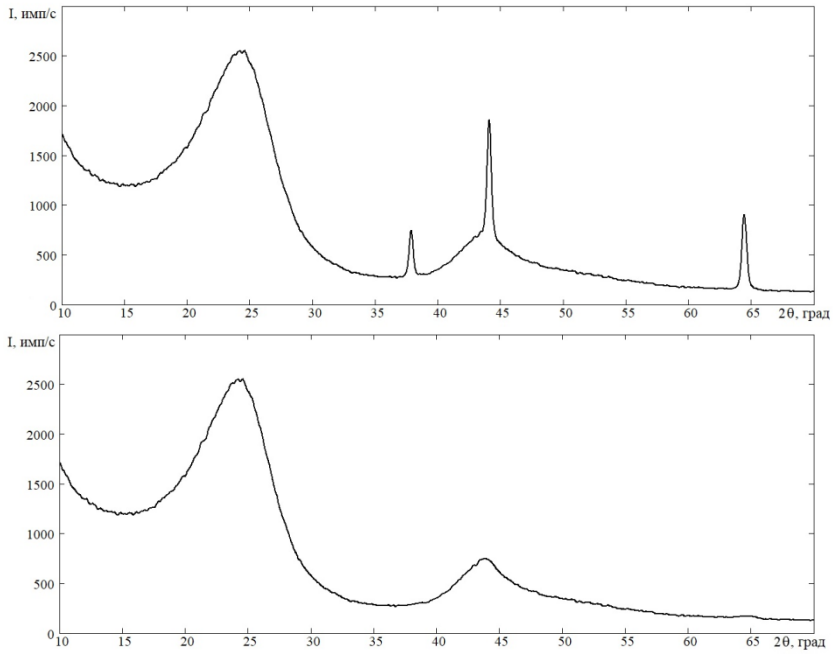


Рисунок 1 – Дифрактограммы ТУ С140: исходная (а); после удаления пиков оксидов ванадия (б)

Figure 1 – Diffractograms of carbon black C 140: initial (a); after removal of vanadium oxide peaks (b)

Абсорбцию масла (ДБФ) определяли в соответствии с ASTM D 2414, площадь поверхности по многоточечной адсорбции азота (NSA) и внешнюю площадь поверхности по азоту (STSA) определяли в соответствии с ASTM D 6556.

Долю площади поверхности пор ТУ диаметром менее 2 нм (пористость) вычисляли по формуле [5]:

$$Д = 100 \cdot \frac{NSA - STSA}{NSA}.$$

Коэффициент шероховатости поверхности ТУ вычисляли по формуле [8]:

$$К_ш = \frac{NSA}{STSA}.$$

Долю краевых углеродных атомов графеновых слоев ТУ вычисляли по формуле [8]:

$$D = 29{,}602 \cdot (L_a)^{-0{,}809}.$$

Линейный регрессионный анализ проводили с использованием пакета Mathcad.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены результаты измерения удельного электрического сопротивления ρ исследованных марок ТУ [15].

Таблица 1 – Удельное электрическое сопротивление ТУ

Table 1 – Electrical resistivity of carbon black

ТУ	CH85	C140	CH600	CHX
ρ, Ом·м	0,0029	0,0032	0,0015	0,0008

Как следует из данных, приведенных в таблице 1, близкие значения удельного сопротивления имеют марки CH85 и C140, для CH600 зафиксировано двукратное, а для CHX четырехкратное снижение значений ρ. Для установления взаимосвязи удельного сопротивление ТУ с его физико-химическими характеристиками, определяли параметры, значения которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры, характеризующие поверхность ТУ

Table 2 – Parameters characterizing the surface of carbon black

ТУ	ДБФ, см³/100 г	NSA, м²/г	STSA, м²/г	Д, %	$К_ш$	D, %
CH85	141	71	66	6	1,1	10,0
C140	135	307	137	55	2,2	9,4
CH600	188	598	360	40	1,7	8,8
CHX	253	1006	647	36	1,5	8,0

В качестве параметров, определяющих высокую удельную электропроводность технического углерода, обычно выделяют высокие значения структурности (ДБФ) и удельной поверхности технического углерода (NSA).

Данные о влиянии пористости ТУ на электропроводность технического углерода и полимерных композитов, в которых он используется в качестве наполнителя, носят противоречивый характер [2, 5]. Так, в работе [2] пористость указывается как один из основных факторов, определяющих электропроводность ТУ, однако, направленность такого влияния, а также влияние размеров пор на электропроводность детально не рассматриваются. Можно согласиться с заключением авторов работы [5] о том, что поры размером порядка 1,3 – 2 нм приводят к нарушению непрерывности углеродных слоев, что снижает электропроводность ТУ. Поры большего размера участвуют в формировании разветвленной структуры частиц ТУ и обеспечивают увеличение числа контактов между частицами, что повышает электропроводность технического углерода [5]. Доля краевых углеродных атомов косвенно связана со средним размером кристаллитов в направлении La. Для определения этого и других параметров кристаллической структуры, которые влияют на электропроводность ТУ, проводили рентгеноструктурный анализ, результаты которого представлены в таблице 3 [15].

Электрическая проводимость кристаллита ТУ вдоль графеновых слоев и в перпендикулярном направлении существенно отличается [1, 2].

Таблица 3 – Результаты рентгеноструктурного анализа ТУ

Table 3 – Results of X-ray structural analysis of carbon black

ТУ	d_{002}, нм	X, %	L_c, нм	L_a, нм
CH85	0,363	1,5	1,4	3,8
C140	0,363	1,4	1,3	4,1
CH600	0,359	1,5	1,4	4,5
CHX	0,360	1,4	1,6	5,0

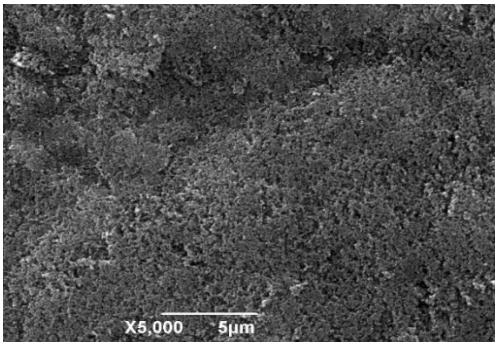
Обычно, в качестве полуколичественной оценки этого отличия приводят данные о том, что в графите удельное сопротивление в направлении перпендикулярном к графеновым слоям примерно в 250 раз выше, чем в направлении вдоль графеновых слоев [1]. Следует ожидать, что в ТУ эта разница будет больше, так как в отличие от графита в кристаллите ТУ графеновые плоскости произвольно смещены по отношению к нормали. Вклад проводимости в направлении, перпендикулярном графеновым слоям, в общую проводимость кристаллита ТУ будет зависеть от межплоскостного расстояния, которое лежит в диапазоне 0,345 – 0,365 нм [1] и от размера кристаллита в направлении, перпендикулярном графеновым слоям. Вклад проводимости вдоль графеновых слоев в общую проводимость кристаллита ТУ будет зависеть от соответствующего размера кри-

сталлита. Очевидно, что массовая доля кристаллических областей в ТУ (степень кристалличности) также влияет на электропроводность материала: чем выше степень кристалличности, тем больше упорядоченных областей участвуют в формировании электропроводности ТУ.

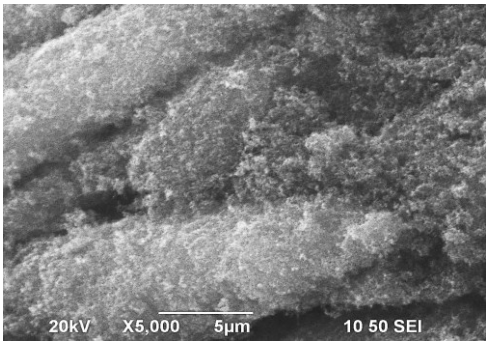
Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что измеренные и рассчитанные параметры кристаллической структуры и физико-химические характеристики ТУ, приведенные в таблицах 1 – 2, оказывают конкурирующее влияние на электропроводность материала. С одной стороны, повышению электропроводности способствуют уменьшение доли площади поверхности пор ТУ диаметром менее 2 нм, доли краевых углеродных атомов, межплоскостного расстояния. С другой стороны, повышению электропроводности способствуют повышение значения показателей ДБФ, NSA и STSA, коэффициента шероховатости, степени кристалличности, размеров кристаллитов.

Как следует из результатов сопоставления данных, приведенных в таблицах 1 - 3, среди измеренных и рассчитанных параметров кристаллической структуры и физико-химических характеристик в исследованной группе марок ТУ закономерность в изменении удельного сопротивления качественно соответствует закономерностям в изменении следующих параметров: ДБФ, NSA, STSA, D. Значения параметров d_{002} и X одинаковы в пределах погрешности. Это свидетельствует о том, что различия в значениях удельного сопротивления не связаны с данными параметрами. Значения параметра L_c для исследованных марок отличаются незначительно, отличия значений L_a более существенные. Характер изменения значений показателя Д для марок С140, СН600 и СНХ качественно соответствует характеру изменения их удельного сопротивления. Влияние низкого значения этого показателя для марки СН85 на удельное сопротивление ТУ, вероятно, подавляется конкурирующим влиянием других факторов. Влияние параметра $К_ш$ на величину удельного сопротивления ТУ является неоднозначным – явная закономерность в совместном изменении $К_ш$ и ρ не обнаружена. В то же время, следует отметить, что различия в значениях коэффициента шероховатости для исследованных марок ТУ согласуются с различиями в оценке состояния поверхности на микроскопическом уровне, которые визуально наблюдаются на микрофотографиях, полученных с помощью электронного микроскопа. Для сравнения на рисунке 2 приведены микрофотографии поверхности марок ТУ с наименьшим значением показателя $К_ш$ (СН85) и наибольшим значением этого показателя (С140). Как следует из сравнения этих микрофотографий, поверхность С140 визуально более рыхлая, что косвенно может быть связано с повышенной шероховатостью поверхности на микроуровне.

Для количественной оценки связи отдельных структурных параметров, использованных в работе, и удельного сопротивления для исследованной группы марок ТУ провели регрессионный анализ. В работе [5] подобный анализ проведен для параметра NSA, авторы использовали полиномиальную регрессию, коэффициент корреляции составил 0,87.



а)



б)

Рисунок 2 – Микрофотографии ТУ СН85 (а) и С140 (б), увеличение ×5000 крат

Figire 2 – Micrographs of carbon black CH85 (a) and C 140 (b), magnification x 5000 times

Результаты линейного регрессионного анализа «удельное электрическое сопротивление ρ (зависимая переменная) – структурный параметр x (независимая переменная)» представлены в таблице 4. В качестве примера на рисунке 3 приведена зависимость удельного электрического сопротивления ТУ от показателя ДБФ (наибольший коэффициент корреляции) для исследованной группы марок технического углерода.

Как следует из данных, приведенных в таблице 4, наиболее значимыми независимыми переменными ($R \geq 0,92$), определяющими удельное электрическое сопротивление исследованной группы марок ТУ, являются показатель абсорбции масла (ДБФ), площадь поверхности по многоточечной адсорбции азота (NSA), внешняя площадь поверхности по азоту (STSA), средний размер кристаллитов вдоль графеновых слоев L_a. Следует отметить, что для исследованной группы марок ТУ использование линейной регрессии для переменных ρ - NSA обеспечивает больший коэффициент корреляции (R = 0,92), чем использование полиномиальной регрессии (R = 0,87) для группы марок ТУ, исследованной в работе [5].

Таблица 4 – Результаты регрессионного анализа
Table 4 – Regression analysis results

Независимая переменная	ДБФ	NSA	STSA	L_c	L_a
R	0,97	0,92	0,95	0,86	0,93
k	$-2{,}0\cdot10^{-5}$	$-2{,}6\cdot10^{-6}$	$-4{,}2\cdot10^{-6}$	$-7{,}8\cdot10^{-3}$	$-2{,}0\cdot10^{-3}$

R – коэффициент корреляции
k – коэффициент линейного регрессионного уравнения вида $\rho = x_0 + kx$, Ом·м/(единица измерения независимой переменной).

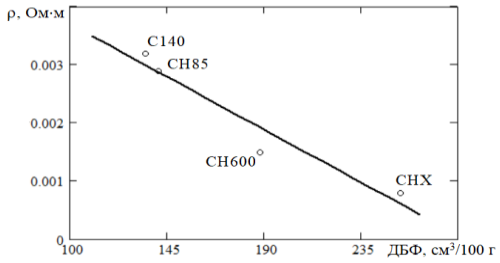


Рисунок 3 – Зависимость удельного электрического сопротивления ТУ от показателя ДБФ

Figure 3 – Dependence of the specific electrical resistance of carbon black on the DBP index

ВЫВОДЫ

Установлена зависимость удельного электрического сопротивления исследованной группы марок ТУ от структурных параметров углерода. Показана корреляция изменений удельного электрического сопротивления ТУ и от таких параметров кристаллической структуры и физико-химических характеристик, как показатель абсорбции масла (ДБФ), площадь поверхности по многоточечной адсорбции азота (NSA), внешняя площадь поверхности по азоту (STSA), средний размер кристаллитов вдоль графеновых слоев (L_a). Полученные результаты могут быть использованы при рациональном выборе марок ТУ в качестве наполнителей при разработке электропроводных полимерных композитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуль В.Е., Шенфиль Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. Москва : Химия, 1984. 240 с.

2. Donnet J.-B., Carbon Black: Science and Technology, Second Edition 2nd Edition, Kindle Edition, 2017. 482 p.

3. Boosting electrical and piezoresistive properties of polymer nanocomposites via hybrid carbon fillers: A review / K. Ke [et al.]. // Carbon. 2021. Vol. 173. P. 1020-1040. DOI:10.1016/j.carbon.2020.11.070.

4. Khodabakhshi S., Fulvio P. F., Andreoli E. Carbon black reborn: Structure and chemistry for renewable energy harnessing // Carbon. 2020. Vol. 162. P. 604-649. DOI: 10.1016/j.carbon.2020.02.058.

5. Инновационный дисперсный углерод. От идеи до технологии: монография / Г. И. Раздьяконова [и др.]. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. 312 с.

6. Шадринов Н. В., Антоев К. П. Электропроводящая резина с эффектом положительного температурного коэффициента сопротивления из шинного регенерата // Перспективные материалы. 2021. № 3. С. 21–29. DOI: 10.30791/1028-978X-2021-3-21-29.

7. Раздьяконова Г. И., Лихолобов В. А., Кохановская О. А. Технологии модификации технического углерода. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. 160 с.

8. Раздьяконова Г. И., Кохановская О. А., Лихолобов В. А. Саморазложение пероксида водорода на поверхности дисперсного углерода // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. 2015. Т. 7. № 2. С. 180–190. DOI: 10.17725/rensit.2015.07.180.

9. Lee S.-M., Lee, S.-H., Roh, J.-S. Analysis of activation process of carbon black based on structural parameters obtained by XRD analysis // Crystals. 2021. Vol. 11. № 153. DOI: 10.3390/CRYST11020153.

10. Минакова Н. Н. Оценка электрофизических характеристик, наполненных модифицированным техническим углеродом композиционных материалов с помощью метода локальных бинарных шаблонов // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 230–236. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.029.

11. Fathi A., Hatami K., Grady B. P. Effect of carbon black structure on low-strain conductivity of polypropylene and low-density polyethylene composites // Polymer engineering and science. 2012. Vol. 52. № 3, P. 549–556. DOI: 10.1002/pen.22115.

12. Biscoe J., Warren B. E. An X-Ray Study of Carbon Black // Journal of Applied Physics. 1942. Vol. 13. P. 364–371. DOI: 10.1063/1.1714879.

13. Способ дифрактометрического определения степени кристалличности веществ / Д. Г. Чухчин [и др.]. // Кристаллография. 2016. Т. 61. № 3. С. 375–379. DOI: 10.7868/S0023476116030085.

14. Structure and phase composition of electrically conductive carbon black / O.V. Kropotin [et al.]. // Journal of Physics: Conference Series. 2022. 2182 012076. DOI: 10.1088/1742-6596/2182/1/012076.

15. Влияние параметров кристаллической структуры на удельное сопротивление электропроводного технического углерода / О. В. Кропотин [и др.]. // Материалы VIII Региональной научно-технической конференции «Ученые Омска – региону». Омск : ОмГТУ, 2023. С. 40–43.

Информация об авторах

О. В. Кропотин – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Физика», заведующий кафедрой «Физика» Омского государственного технического университета.

Е. А. Рогачев – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Физика» Омского государственного технического университета.

Е. А. Дроздова – руководитель проектов ООО «ОМСКТЕХУГЛЕРОД».

А. А. Каленчук – ассистент кафедры «Физика» Омского государственного технического университета.

Е. Г. Глуховеря – ассистент кафедры «Физика» Омского государственного технического университета.

Information about the authors

O. V. Kropotin – Omsk State Technical University, professor of Physics Department, doctor of technical sciences, associate professor.

E. A. Rogachev – Omsk State Technical University, associate professor of Physics Department, candidate of technical sciences.

E. A. Drozdova – Omsk Carbon Group, project manager.

A. A. Kalenchuk – Omsk State Technical University, assistant of Physics Department.

E. Г. Glukhoverya – Omsk State Technical University, assistant of Physics Department.

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

Статья поступила в редакцию 26 ноября 2023; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 26 Nov 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 234–241.
Polzunovskiy vestnik. 2024;3: 234–241.

Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 628
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.034 EDN: SHYXOG

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВКЛАДА

Ирина Михайловна Угарова [1], Алена Константиновна Горелкина [2], Тамара Александровна Утробина [3]

[1, 2, 3] Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
[1] ugarova260304@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7016-8162
[2] alengora@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3782-2521
[3] tamara-mamontova@yandex.ru

Аннотация. *Решение вопросов экологической безопасности, это одна из основных повесток «Программы социально-экономического развития Кузбасса» в рамках которой проводится масштабная работа по обеспечению безопасности жизнедеятельности населения и улучшения экологической обстановки Кемеровской области-Кузбасса. Высокая антропогенная нагрузка на экосистемы региона, в том числе водные, приводит к снижению их биосферных функций. В рамках исследования был проведен анализ воздействия техногенных факторов на водную систему Кемеровской области-Кузбасса, а также определены основные источники загрязнения сточных вод. Наиболее эффективным и экономически целесообразным способом очистки воды от загрязнителей является использование метода сорбционного извлечения, предварительно комбинированного с механической обработкой.*

Ключевые слова: *гидрологическая сеть, водный объект, контаминант, сточные воды, методы очистки, сорбционный материал.*

Благодарности: *Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144- р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации , № соглашения 075-15–2022- 1201 от 30.09.2022 г.*

Для цитирования: Угарова И. М., Горелкина А. К., Утробина Т. А. Загрязнение водных объектов и способы снижения антропогенного вклада // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 234 – 241. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.034, EDN: https://elibrary.ru/SHYXOG.

Original article

POLLUTION OF WATER BODIES AND WAYS TO REDUCE ANTHROPOGENIC CONTRIBUTION

Irina M. Ugarova [1], Alena K. Gorelkina [2], Tamara A. Utrobina [3]

[1, 2, 3] Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
[1] ugarova260304@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7016-8162
[2] alengora@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3782-2521
[3] tamara-mamontova@yandex.ru

Abstract. *Addressing environmental safety issues is one of the main agendas of the Kuzbass Socio-Economic Development Program, which carries out large-scale work to ensure the safety of the population and improve the ecological situation of the Kemerovo region-Kuzbass. High anthropogenic pressure on the ecosystems of the region, including aquatic ones, leads to a decrease in their biospheric functions. As part of the study, the impact of man-made factors on the water system of the Kemerovo region-Kuzbass was analyzed, and the main sources of wastewater pollution were identified. The most effective and economical-*

© Угарова И. М., Горелкина А. К., Утробина Т.А., 2024

ly feasible way to purify water from pollutants is to use the sorption extraction method, previously combined with mechanical treatment.

Keywords: *hydrological network, water body, contaminant, wastewater, purification methods, sorption material.*

Acknowledgements*: The research is conducted as part of the comprehensive scientific and technical program of a complete innovative cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, ensuring of industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with consecutive amelioration of ecological impact on the environment and risks to human life", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation from 11.05.2022 №1144-r,* with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation*,agreement No.* 075-15-2022- 1201 *dated 30.09.2022.*

For citation: Ugarova, I. M., Gorelkina, A. K. & Utrobina, T. A. (2024). Pollution of water bodies and ways to reduce anthropogenic contribution. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 234-241. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.034. EDN: https://elibrary.ru/SHYXOG.

ВВЕДЕНИЕ

Ресурсориентированные регионы, основанные на добыче полезных ископаемых, зачастую сталкиваются с серьезными последствиями для окружающей среды. Добыча ресурсов неизбежно приводит к глубоким техногенным изменениям экосистем, что негативно сказывается на биосферных функциях различных объектов, в том числе водных. Антропогенное загрязнение гидросферы, то есть загрязнение водных ресурсов деятельностью человека, является характерной чертой таких регионов. Загрязнение затрагивает как поверхностные водоемы, такие как реки, озера, моря и океаны, так и подземные водоносные горизонты, являющиеся важнейшим источником питьевой воды. Кузбасс, регион с богатыми запасами каменного угля, является ярким примером ресурсориентированного региона, где проблема загрязнения воды стоит особенно остро. Экономика Кузбасса во многом обусловлена развитием добывающего сектора, что обуславливает масштабную техногенную нагрузку на окружающую среду [1].

Важную роль в индустриально развитом Кузбассе играет главная водная артерия река Томь, которая подвергается сильному антропогенному воздействию, приводящему к ухудшению состояние водных объектов. Загрязнение Томи формируемся и за счет притоков. Реки бассейна Томи принимают недостаточно очищенные сточные воды от городских коммунальных хозяйств, а также промышленных предприятий, в том числе горнодобывающих, металлургических, химических и агропромышленных. Если сточные воды не очищаются должным образом, они могут содержать вредные вещества, такие как нефтепродукты, фенолы, железо, соединения азота, органические материалы, тяжелые металлы и другие загрязнители, которые могут оказать пагубное воздействие на окружающую среду. Особое внимание стоит уделить малым и очень малым рекам, являющимися притоками Томи (Тайда, Ольжерас, Калзагай, Бунгур, Кондома и другие), которые принимают на себя значительные объемы сточных вод, причем чаще всего это загрязненные стоки. Таким образом, они испытывают большую нагрузку, чем сама река Томь, так как их малый объем не позволяет им эффективно очищаться естественным путем, тем самым делая их приемником сточных вод. Как результат, некоторые из этих малых рек были исключены из реестра [2, 3, 4].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методы анализа контаминантов и забор воды из объектов исследования осуществлялся в соответствии с нормативными документами: ГОСТ 31861-2012, ГОСТ 31940-2012, ГОСТ 33045-2014, ГОСТ 2517-2012, ГОСТ 18293-72, ГОСТ 31956-2012, ГОСТ 18165-2014.

Контрольные точки для отбора на гидрологической сети Кузбасса отражены на рисунке 1. Точки забора проб из водных объектах соответствуют: р. Тайда 3,7 км от устья; р. Большой Теш 28 км от устья; р. Малый Теш 23 км от устья; р. Черный Калтанчик 5,5 км от устья; р. Кийзас-3 0,6 км от устья; р. Черновой Нарык 53 км от устья; р. Ольжерас 4 км от устья; р. Калзагай 10 км от устья; р. Есаулка 5 км от устья; р. Кыргайчик 9,2 км от устья; р. Щедруха 6 км от устья; р. Бунгур 16 км от устья; р. Казас 2 км от устья; р. Южная Уньга 30 км от устья; р. Кондома 100 км от устья; р. Акчурла 8 км от устья; р. Красенка 0,68 км от устья; р. Сенькина 0,5 км от устья; р. Большая Тетенза 5 км от устья; р. Володино 0,05 км от устья; р. Конобениха 3,6 км от устья; р. Черная Речка 0,6 км от устья; р. Большой Унзас 105,1 км от устья; р. Кульяновка 0,45 км от устья; р. Кульяновка, приток р. Рушпайка 4 км от устья; р. Петрик 12,9 км от устья; р. Аба 5 км от устья; р. Абашева 5,7 км от устья; р. Горбуниха 7,2 км от устья.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Широкий спектр объектов исследования отражает высокий уровень техногенной нагрузки на экосистемы региона и определяет остроту экологического бедствия.

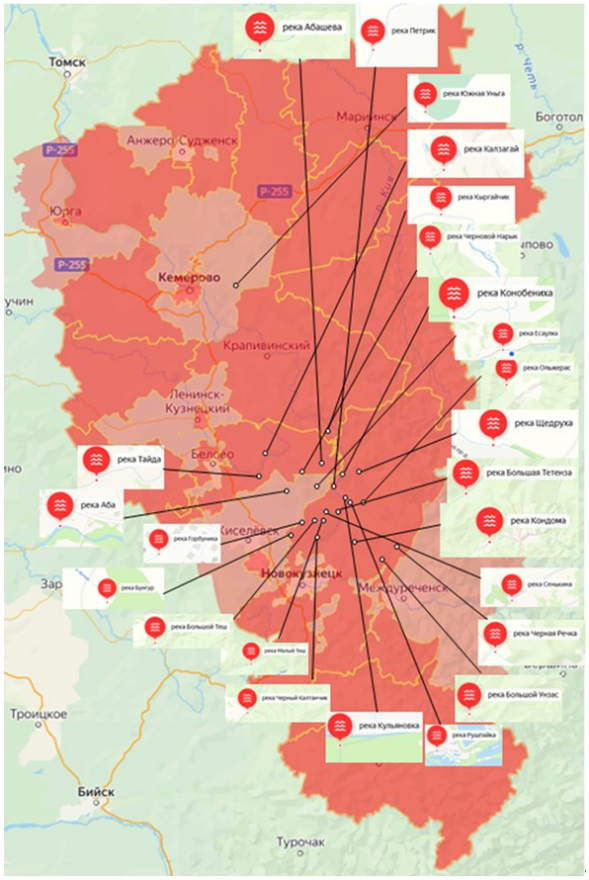


Рисунок 1 – Контрольные точки для отбора проб воды гидрологической сети Кемеровской области-Кузбасса

Figure 1 – Control points for water sampling of the hydrological network of the Kemerovo region-Kuzbass

Таблица 1 наглядно демонстрирует, какие вещества в сточных водах превышают допустимые нормы. В первую очередь, это органические загрязнители: нефтепродукты, фенолы и взвешенные вещества. Их высокая концентрация в воде является следствием промышленных выбросов, утечек с нефтедобывающих платформ, а также неочищенных сточных вод с предприятий пищевой промышленности. Следом за органическими веществами в списке приоритетных загрязнителей идут минеральные вещества: хлорид-ион, сульфат-ион, нитрат-ион, нитрит-ион, аммоний-ион и фосфаты. Повышенное содержание этих веществ в воде обусловлено как промышленным производством, так и сельскохозяйственной деятельностью, где используются различные удобрения и пестициды. Например, избыток нитратов и фосфатов ведет к бурному росту водорослей, что приводит к «цветению» водоемов, снижению уровня кислорода и гибели рыбы. Особую опасность представляют собой тяжелые металлы: железо, свинец, марганец, медь, цинк. Их наличие в сточных водах обусловлено промышленными выбросами, особенно из металлургических предприятий, а также выщелачиванием из почвы в результате кислотных дождей. Тяжелые металлы накапливаются в организмах водных животных, постепенно увеличиваясь в концентрации с каждым звеном пищевой цепи. Присутствие тяжелых металлов сказывается на биологической активности гидробионтов, а также сокращении количества видов водных животных и растений, нарушая естественный баланс экосистемы [5, 6, 7, 8].

Реализуемые мероприятия по очистке сточных вод, судя по результатам исследования проб воды водных объектов, не в достаточной степени удовлетворяют нормативным требованиям ПДК р/х.

В результате анализа было установлено, что концентрация некоторых веществ значительно превышает установленные нормативы ПДК. На основе полученных данных были созданы модельные растворы, имитирующие сточные воды предприятий, оказывающие наибольшее влияние на уровень загрязнения водных ресурсов региона. Эти модели позволили в лабораторных условиях изучать влияние различных загрязняющих веществ на водную среду. В качестве приоритетных загрязнителей для моделирования были выбраны сульфаты, нитраты, железо и взвешенные вещества. Выбор этих веществ был обусловлен их регулярным превышением ПДК в сточных водах предприятий Кузбасса, что делает их ключевыми факторами, негативно влияющими на качество воды [9, 10, 11]. Для снижения уровня загрязнения модельного раствора был выбран двухэтапный метод, который является наиболее экономически целесообразным. Он объединяет механическую очистку и применение сорбционных материалов, работая по принципу «сначала грубое, потом тонкое». Первый этап – механическая очистка – играет роль «предварительной фильтрации», минимизируя нагрузку на основной сорбционный фильтр, тем самым значительно увеличивая срок его службы. Данный этап предотвращает попадание крупных частиц в сорбционный фильтр, которые могли бы забить его поры и нарушить его работу. Для механической очистки используется дополнительный фильтр с песчаной загрузкой, который позволяет задерживать взвешенные вещества, препятствуя их проникновению в последующие стадии очистки. Второй этап – сорбционная очистка – это «тонкая» работа, где вступают в действие специальные материалы, способные связывать и удерживать загрязняющие вещества. Для данной цели применяется многоразовый картридж, который заполняется различными сорбционными материалами. В качестве сорбентов могут использованы такие синтетические вещества, как активированный уголь и силикагель. Также в картридж могут быть

внесены природные материалы: мел, диатомит, трепел, цеолит, доломит и магнитит. Все эти вещества имеют свои уникальные характеристики и могут эффективно удалять определённые типы загрязняющих веществ. [12, 13, 14, 15, 16].

В сфере очистки сточных вод сорбционные материалы играют ключевую роль, эффективно удаляя из них различные загрязнения. Среди широкого ассортимента материалов, представленных на рынке, выделяются несколько наиболее популярных марок, каждая из которых обладает своими уникальными свойствами и предназначением. Так, например, каменный уголь (КАУ) и древесный уголь (БАУ), СКД-515, АГ-3 и АГ-ОВ-1. Важно отметить, что эффективность сорбционных материалов зависит не только от их типа, но и от концентрации загрязняющих веществ, температуры, pH среды и ряда других факторов. Поэтому выбор оптимальной марки сорбента для конкретного случая требует тщательной оценки характеристик сточных вод и составления режима очистки.

Данные марки сорбционных материалов зарекомендовали себя в очистке малоконцентрированных сточных вод, загрязненных органическими соединениями (C6H6O, CH2O, CHCl3, C2HCl3) и взвешенными частицами. Именно поэтому выбор этих материалов является приоритетным при работе с загрязнителями, которые и исследовались в модельных растворах [17, 18].

Моделирующий сточные воды раствор с соотношением SO_1^{2-}, NO_3^-, Fe^{2+} – 1:1:1,, соответственно, при концентрации загрязняющих веществ, превышающей ПДК в 10 раз, V=50 дм3 пропущен через активированный уголь СКД-515 (слой загрузки 20 см при диаметре картриджа 7 см) был очищен до показателей, соответствующих нормативным. Промышленные угли марок БАУ и КАУ показали аналогичный эффект. Дальнейшие исследования направлены на определение объема, который вероятно можно пропустить через данных слой загрузки до проскока одного из компонентов.

Результаты исследуемых сорбционных материалов представлены на рисунке 2.

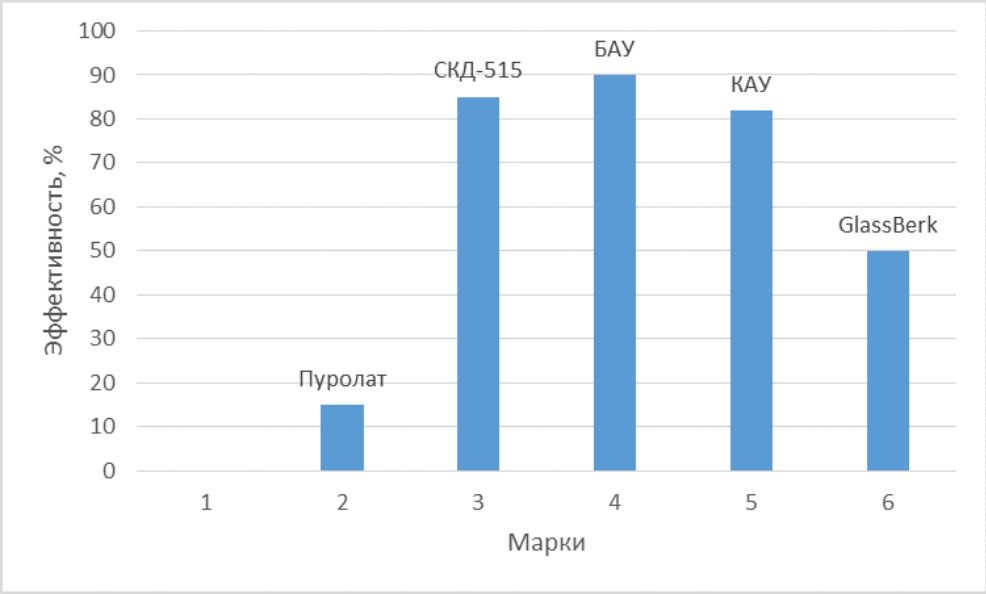


Рисунок 2 – Сорбционная эффективность углеродных сорбентов

Figure 2 – Sorption efficiency of carbon sorbents

Стеклянный Фильтрующий Элемент GlassBerk – опытный образец альтернативного сорбционного материала, оснащенный кислородосодержащими поверхностными группами. Эти поверхностные группы взаимодействуют с различными типами загрязнителей, включая органические и неорганические соединения. Органические загрязнители, как правило, задерживаются в порах материала, в то время как неорганические вещества преимущественно взаимодействуют с кислородосодержащими группами. GlassBerk производится в Турции и доступен по цене, сопоставимой с ценой других фильтрующих материалов, таких как БАУ. Однако данный материал демонстрирует значительно большую механическую прочность по сравнению с активным углем, что делает его более устойчивым к истиранию и повреждениям, позволяя рассчитывать на долговечность и эффективность в условиях эксплуатации.

Производителем отмечается и ряд общих характеристик:

• Экономия расходных материалов. Потребность в GlassBerk на 20% ниже по сравне-

нию с активным углем, что приводит к снижению расходов на эксплуатацию.

• Уменьшение загрязнения. Отсутствие кальцинации грязи позволяет избежать образования осадка и необходимости регулярной очистки фильтрующей системы.

• Высокая точность фильтрации. GlassBerk обеспечивает очистку воды до 5 микрон, эффективно удаляя из нее мельчайшие частицы и примеси.

• Предотвращение бактериального и водорослевого роста. Благодаря своей структуре и свойствам, GlassBerk препятствует появлению бактерий и водорослей в фильтрующей системе.

• Оптимизация обратной промывки. Процесс обратной промывки GlassBerk происходит быстрее и менее продолжительно по сравнению с песком, что экономит время и ресурсы.

• Экономия воды и энергии. GlassBerk позволяет сократить потребление воды и энергии при обратной промывке на 50%, делая его более экологичным решением.

Таблица 1 – Результаты анализа образцов воды
Table 1 – The results of the analysis of water samples

Классификация	Водный объект	Выполнение условий водопользования в части загрязнения водных объектов за первое полугодие 2021 г.
1	2	3
Угольные (предприятия по добыче и переработке угля)	Река Тайда, г. Киселевск	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по нитрит-аниону в 1,6 раза; железу в 2,51 раза; нефтепродуктам в 8,3 раза; сульфат-аниону в 3,69 раза; взвешенным веществам в 1,94 раза; хлорид-аниону в 1,11 раза; минерализации в 1,02 раза
	Река Большой Теш, Новокузнецкий р-н	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по сульфат-аниону в 1,49 раза
	Река Малый Теш, Новокузнецкий р-н	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по сульфат-аниону в 1,39 раза
	Река Черный Калтанчик, Новокузнецкий р-н	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по сульфат-аниону в 1,6 раза
	Река Кийзас-3, г. Междуреченск	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по цинку в 1,11 раза
	Река Черновой Нарык, Новокузнецкий р-н	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по фенолу в 1,13 раза; по свинцу в 1,19 раза
	Река Ольжерас, Междуреченский гор. округ	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по взвешенным веществам в 1,39 раза; сухому остатку в 1,36 раза; сульфат-аниону в 1,87 раза
	Река Калзагай, г. Киселевск	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по железу в 4,2 раза
	Река Есаулка, г. Новокузнецк	Превышение максимального содержания микроорганизмов в сточных водах по ТКБ в 4 раза
	Река Кыргайчик, Прокопьевский р-н	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по меди в 1,6 раза; нитрат-иону в 3,05 раза; железу в 2,3 раза
	Река Щедруха, Новокузнецкий р-н	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по нитрат-иону в 1,25 раза; по меди в 2 раза
	Река Казас, г. Мыски	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по БПКполн. в 1,01 раза
ЖКХ (водоканалы, теплоэнергетические предприятия)	Река Южная Унь-га, Крапивинский р-н	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по хрому6+ в 3,3 раза
	Река Кондома, Таштагольский р-н	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по взвешенным веществам в 1,05 раза
	Река Акчурла (Лог Акчурлинский), Киселевский гор. округ	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по фосфат-иону в 3 раза
	Река Красенка, приток р. Кондома, Калтан г.	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по железу в 5,4 раза

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3
	Река Сенькина, Кемеровская область, Осинниковский городской округ	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по железу в 3,77 раза
	Река Большая Тетенза, левобережный приток р. Томь, Кемеровская область, Мысковский городской округ	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по нитрит-аниону в 5 раз, сульфат-аниону в 2 раза, хлорид-аниону в 1,47 раза
	Река Володино, левобережный приток р. Томь, Кемеровская область, Мысковский городской округ	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по сульфат-аниону в 1,78 раза, хлорид-аниону в 2 раза
Промышленные предприятия, в том числе металлургические	Река Конобениха, Новокузнецк г.	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ и микроорганизмов в сточных водах по нефтепродуктам в 1,6 раза; фторид-иону в 1,69 раза; железу в 2 раза; марганцу в 5,6 раза; фосфору фосфатов в 2,64 раза
	Река Черная Речка, Новокузнецк г.	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ и микроорганизмов в сточных водах по нефтепродуктам в 3,4 раза; нитрит-иону в 2,35 раза; фторид-иону в 1,13 раза; железу в 1,6 раза; алюминию в 1,5 раза
	Река Большой Унзас (Бол. Речка), Таштагольский р-н	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по БПКполн. в 1,02 раза; взвешенным веществам в 2,89 раза; аммоний-иону в 31,3 раза; железу в 9,8 раза; марганцу в 7,2 раза; нефтепродуктам в 21,4 раза; нитратам в 3,53 раза; нитритам в 10 раз; сульфатам в 1,51 раза; сухому остатку в 1,13 раза; фенолу в 4,56 раза
	Река Кульяновка, Новокузнецк г	Превышение нормативов допустимого сброса по меди в 1,2 раза
	Река Кульяновка, приток р. Рушпайка, Новокузнецкий г. о.	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по БПКполн. в 1,29 раза
Сельскохозяйственные	Река Петрик, Новокузнецкий р-н; 12,9 км от устья	Превышение объема допустимого сброса сточных вод по: аммоний-иону в 2,7 раза; БПКполн. в 3,57 раза; железу в 4,41 раза; нефтепродуктам в 1,7 раза; нитрит-аниону в 3,86 раза; СПАВ в 1,26 раза; марганцу в 11,33 раза; фосфору фосфатов в 3,49 раза; взвешенным веществам в 6,56 раза; ОКБ в 9286,67 раза; ТКБ в 46433,0 раза
Энергетические	Река Аба, Новокузнецк г; 5 км от устья	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ и микроорганизмов в сточных водах по железу в 1,2 раза; марганцу в 4,4 раза; фосфору фосфатов в 1,1 раза; ТКБ в 4 раза
Прочие (образовательные учреждения, транспортные компании)	Река Абашева, Новокузнецкий р-н; 5,7 км от устья	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по аммоний-иону в 4,45 раза; БПКполн. в 4,13 раза; взвешенным веществам в 3,89 раза; ХПК в 2,06 раза; железу в 13,9 раза; фосфору фосфатов в 3 раза; ХПК в 2,06 раза
	Река Горбуниха, Новокузнецк г; 7,2 км от устья	Превышение максимального содержания загрязняющих веществ в сточных водах по аммоний-иону в 1,08 раза; фосфатам (по Р) в 2,22 раза; БПКполн. в 2,17 раза; железу в 2,4 раза

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование образцов проб воды позволило выявить следующие приоритетные загрязнители для водных объектов Кемеровской области – Кузбасса, а именно сульфаты, нитраты, железо, взвешенные вещества. На основании усредненных данных были составлены модельные растворы.

В ходе исследований рассмотрен физико-химический процесс – сорбция. Наибольшая сорбционная активность была отмечена у БАУ, однако стеклянный фильтрующий элемент показал себя как перспективный материал для сорбционной очистки сточных вод. Он отличается высокой механической прочностью, небольшой стоимостью и возможностью регенерации. Применение стеклянного фильтрующего элемента в качестве наполнителя сорбционной колонны позволяет снизить затраты на очистку и повысить ее эффективность.

В условиях стремительного загрязнения гидрологической сети Кузбасса актуальной задачей становится поиск и внедрение эффективных методов очистки сточных вод. Сорбционные технологии являются перспективным направлением, которое может внести значительный вклад в решение экологических проблем и развитие различных отраслей промышленности. Дальнейшие исследования и разработки в этой области позволят создавать новые, более эффективные и экологически чистые технологии. Однако при выборе метода очистки необходимо учитывать комплекс факторов, включая тип загрязняющих веществ, объем сточных вод, экологические и экономические ограничения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способы снижения воздействия горнодобывающей отрасли на водные экосистемы / А. К. Горелкина, И. В. Тимощук, Н. С. Голубева, О. В. Беляева, Е. С. Михайлова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 7. С. 64-75. DOI 10.25018/0236_1493_2023_7_0_64.

2. Корчагина Т. В. Метод оценки экологических показателей воздействия на окружающую среду в районах размещения угольных предприятий / Т. В. Корчагина, Ю. А. Степанов, Л. Н. Бурмин // Уголь. 2018. № 8(1109). С. 119-123. DOI 10.18796/0041-5790-2018-8-119-123.

3. Левакова И. В. Некоторые аспекты оценки экологического состояния Кемеровской области / И. В. Левакова, Э. А. Арустамов // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11, № 6. С. 35.

4. Куликова Е. Ю. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов Кемеровской области / Е. Ю. Куликова, Ю. А. Сергеева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 6-1. С. 107-118. DOI 10.25018/0236-1493-2020-61-0-107-118.

5. Производственный контроль как составная часть мониторинга качества питьевой воды / И. О. Мясников, Ю. А. Новикова, О. С. Алентьева [и др.] // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. 2020. № 10(331). С. 9-14.

6. Хасанова А. А. Определение приоритетных химических веществ для контроля безопасности воды централизованных сетей водоснабжения / А. А. Хасанова, К. В. Четверкина, Н. И. Маркович // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 5. С. 428-435. DOI 10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435.

7. Progress in the Research of the Toxicity Effect Mechanisms of Heavy Metals on Freshwater Organisms and Their Water Quality Criteria in China / Ya-jun Hong, Wei Liao, Zhen-fei Yan, Ying-chen Bai, Cheng-lian Feng, Zu-xin Xu, Da-yong Xu // Journal of Chemistry. 2020. DOI 10.1155/2020/9010348.

8. Микшевич Н. В. Тяжелые металлы и экологическая безопасность человека: (свинец, ртуть, кадмий) / Н. В. Микшевич, Л. А. Ковальчук. – Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2020. 92 с.

9. Иветич М. Снижение контаминации воды для обеспечения качества и безопасности продукции пищевых предприятий / М. Иветич, А. К. Горелкина // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 3. С. 515-524. DOI 10.21603/2074-9414-2020-3-515-524.

10. Великий В. А., Федоров С.О. Государственное регулирование в сфере охраны водных ресурсов Кузбасса // Россия молодая: Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. С. 31607.1-31607.5.

11. Голубева Н. С., Гора Н.В. Ботанова А.А. Исследование возможности очистки водных объектов Кузбасса от железа // Пищевые инновации и биотехнологии: Сборник тезисов IX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках III международного симпозиума "Инновации в пищевой биотехнологии. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2021. С. 203-204.

12. Способ очистки сточных вод: пат: 2755988 Рос. Федерации № 2021106095; заявл. 10.03.2021; опубл. 23.09.202.

13. Rajoria S. Treatment of electroplating industry wastewater: a review on the various techniques / S. Rajoria, M. Vashishtha, V. K. Sangal // Environmental Science and Pollution Research. 2022. DOI 10.1007/s11356-022-18643-y.

14. Rajoria S. Treatment of electroplating industry wastewater: a review on the various techniques / S. Rajoria, M. Vashishtha, V. K. Sangal // Environmental Science and Pollution Research. 2022. DOI 10.1007/s11356-022-18643-y.

15. Вайцель А. А. Механические методы очистки сточных вод // Наука, образование и культура. 2019. № 3(37). С. 13-14.

16. Истомина Е. Е., Алексеева Е. А. Применение сорбентов для очистки питьевой воды // Электронный научный журнал. 2019. № 3(25). С.25-28.

17. Ashurova Sh., Amonova M. The use of natural adsorbents in wastewater treatment systems // Universum: технические науки. 2021. No. 3-4(84). P. 86-88.

18. Перспективы очистки оборотных и сточных вод химических предприятий природными сорбентами / Ж. В. у. Вахобов, Ф. Э. Умиров, И. А. Тагаев, Х. Б. у. Мажидов // Universum: технические науки. 2022. № 9-4(102). С. 56-61.

Информация об авторах

И. М. Угарова – аспирант, лаборант-исследователь "Молодежной лаборатории фундаментальных исследований физико-химических методов очистки воды" Кемеровского государственного университета.

А. К. Горелкина – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной без-

опасности Кемеровского государственного университета.

Т. А. Утробина - кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности Кемеровский государственный университет.

REFERENCES

1. Gorelkina, A. K., Tymoshchuk, I. V., Golubeva, N. S., Belyaeva, O. V., Mikhailova E. S. (2023). Ways to reduce the impact of the mining industry on aquatic ecosystems. Mining information and Analytical bulletin (scientific and technical journal). No. 7. pp. 64-75. DOI 10.25018/0236_1493_2023_7_0_64.

2. Korchagina, T. V., Stepanov, Yu. A., Burmin L. N. (2018). Method for assessing environmental impact indicators in areas where coal enterprises are located. Coal. No. 8 (1109). pp. 119-123. DOI 10.18796/0041-5790-2018-8-119-123.

3. Levakova, I. V., Arustamov, E. A. (2019). Some aspects of the assessment of the ecological state of the Kemerovo region. Bulletin of Eurasian Science. Vol. 11, No. 6. P. 35.

4. Kulikova, E. Yu., Sergeeva, Yu. A. (2020). Conceptual model of minimizing the risk of pollution of water resources of the Kemerovo region. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). No. 6-1. pp. 107-118. DOI 10.25018/0236-1493-2020-61-0-107-118.

5. Myasnikov, I. O., Novikova, Yu. A., Alentyeva, O. S [et al.] (2020).Production control as an integral part of monitoring the quality of drinking water. Public health and habitat - ZNiSO. No. 10(331). pp. 9-14.

6. Khasanova, A. A., Chetverkina, K. V., Markovich, N. I. (2021). Determination of priority chemicals for safety control waters of centralized water supply networks / // Hygiene and sanitation. Vol. 100. No. 5. pp. 428-435. DOI 10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435.

7. Ya-jun Hong, Wei Liao, Zhen-fei Yan, Ying-chen Bai, Cheng-lian Feng, Zu-xin Xu, Da-yong Xu (2020). Progress in the Research of the Toxicity Ef-fect Mechanisms of Heavy Metals on Freshwater Or-ganisms and Their Water Quality Criteria in China. Journal of Chemistry. 2020. DOI 10.1155/2020/9010348

8. Mikshevich, N. V. Kovalchuk, L. A. (2020). Heavy metals and human environmental safety: (lead, mercury, cadmium). Yekaterinburg: Ural State Pedagogical University. 92 p.

9. Ivetic, M, Gorelkina, A. K. (2020). Reduction of water contamination to ensure the quality and safety of food enterprises. Technique and technology of food production. Vol. 50, No. 3. pp. 515-524. DOI 10.21603/2074-9414-2020-3-515-524.

10. Velikiy, V. A., Fedorov, S.O. (2022). State regulation in the field of protection of Kuzbass water resources. Molodaya Rossiya: Collection of materials of the XIV All-Russian Scientific and practical conference with international participation. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev. pp. 31607.1-31607.5.

11. Golubeva, N. S., Gora, N.V. Botanova, A.A. (2021). Investigation of the possibility of purification of Kuzbass water bodies from iron. Food innovations and biotechnologies: A collection of abstracts of the IX International Scientific Conference of students, postgraduates and young scientists within the framework of the III international Symposium "Innovations in food bio- technology. – Kemerovo: Kemerovo State University. pp. 203-204.

12. Method of wastewater treatment: pat: 2755988 Russian Federation No. 2021106095; application no. 03/10/2021; publ. 09/23/202. (in Russ.).

13. Rajoria, S., Vashishtha, M., Sangal, V. K. (2022). Treatment of electroplating industry wastewater: a review on the various techniques. Environmen-tal Science and Pollution Research. DOI 10.1007/s11356-022-18643-y.

14. Rajoria S. Vashishtha, M., Sangal, V. K. (2022). Treatment of electroplating industry wastewater: a review on the various techniques. Environmen-tal Science and Pollution Research. DOI 10.1007/s11356-022-18643-y.

15. Weitzel, A. A. (2019). Mechanical methods of wastewater treatment // Science, education and culture. No. 3(37). pp. 13-14.

16. Istomina, E. E., Alekseeva, E. A. (2019). The use of sorbents for drinking water purification // Electronic scientific journal. No. 3(25). pp.25-28.

17. Ashurova, Sh., Amonova, M. (2021). The use of natural adsorbents in wastewater treatment systems // Universum: technical sciences. No. 3-4(84). P. 86-88.

18 Vakhobov, J. V. U., Umirov, F. E., Tagaev I. A., Mazhidov, H. B. U. (2022). Prospects for the purification of recycled and wastewater of chemical enterprises with natural sorbents / // Universum: technical Sciences. No. 9-4(102). pp. 56-61.

Information about the authors

I. M. Ugarova is a post-graduate student, laboratory researcher at the "Youth Laboratory of Fundamental Research of Physico-Chemical Methods of Water Purification" of Kemerovo State University.

A. K. Gorelkina is a Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety of Kemerovo State University.

T. A. Utrobina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University.

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

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абаева А. В. 47
Аёшина Е. Н. 117
Акмырадов А. 153
Алексеев Г.В. 55
Алексеева Н. В. 176
Альшевская М.Н. 95
Амерханова Г. И. 200
Анистратова О.В. 95
Бараненко Д. А. 134
Бахрунов К.К. 206
Белова О. В 213
Белоусова Т. В. 75
Бирченко А. А. 55
Бобина Е. А. 160
Божко С. Д. 111
Бояринева И. В. 111
Буракова Л. Н. 82
Величко Н. А. 117
Воробьёва А. В. 36
Глуховеря Е. Г. 228
Голуб О.В. 66
Горелкина А. К. 234
Грянкина Т. В. 29
Гурьев А. М. 147
Гурьев М. А. 147
Данилаев М. П. 160
Дорофеев Р. В. 29
Дроздова Е. А. 228
Дружечкова Е. Н. 117
Дудкина Н. А. 75
Егорова Е. Ю. 75
Ершова Т. А. 111
Ефименко С. Г. 41
Забодалова Л. А. 134
Затонская Л. В. 213
Захаренко А.М. 66
Захарова А. С. 23
Зенитова Л. А 200
Зимичев А. В. 62
Ибрагимов М. А. 153
Иванов С. Г. 147
Иванова А. А. 169
Ивлева Е. Н. 55
Индюшкин И. В. 169
Казимирченко О.В., 95
Каленчук А. А. 228
Карандашов С. А. 160
Кияненко Е. А. 200
Ковенский И. М. 141
Кольтюгин, И. С. 128
Конева С. И. 23
Кох Ж. А. 36, 105
Кочина А.А. 95
Кощаев И. А. 14
Кравченко С. Н. 121
Кропотин О. В. 228
Кузина А. А. 181
Куклин В. А. 160
Кулемина А. А. 141
Лавриненко К. В. 14
Ли Н. Г. 111
Лыбенко Е. С. 41
Малолеткова Я. В. 62
Мартьянов К. И. 176
Мацкевич И. В., 105
Мелёшкина Л. Е. 7
Михайлова Е. С. 191
Мотовилов О.К. 66
Мусатова К. Н. 169
Мусина О. Н. 7
Нгуен Ши Хай 147
Неверов Е. Н. 191
Невзоров В. Н., 105
Некипелова Т. И. 206
Никитюк Д. Б 90
Николенко М. В. 82
Новоженов В. А. 213
Носова Е. А. 181
Овсянников В. Е. 141
Отт Е. Ф. 29
Пабло Багнон Ричард Анж Аллох 134
Павлов А. Н. 206
Пашков М. В., 223
Плотников Д. А. 82
Разживин В. А. 181
Рахматуллина А. П. 153
Резниченко И. Ю. 121
Речкина Е. А. 36
Рогачев Е. А., 228
Рожнов Е. Д. 82
Романов Е. Д. 176
Рошколаева А. Б. 213
Рухов А. В. 176
Рядинская А. А. 14
Савельев А. П. 55
Смагин В. П. 213
Снегирева А. В. 7
Сорокина А. С. 134
Стрельцова А. С. 7
Стручева Н. Е. 213
Схаплок Р. Ю. 191
Тармаева И. Ю. 90
Темерев С. В. 169
Тимощук И. В. 191
Трибунский А. В. 181
Трубицына Ю. М. 29
Тютьков Н. 134
Угарова И. М. 234
Утробина Т. А. 234
Файзуллин К. В. 160
Ханипова В. А. 36
Ханипова В. А. 117
Хисамутдинов Р. М. 223
Хлопов А. А. 41
Чаугарова Л. З. 141
Чекрыга Г.П. 66
Черноткина Д. Р. 47
Чернышова А. Н. 111
Чуев С. А. 14
Шевченко К. Е. 29
Школьникова М. Н. 82
Шмаков И. А. 213
Щетинина Е. М. 90
Эминова Э. Р. 134

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);

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

• После приводят список литературы на латинице (REFERENCES) согласно стилю APA (American Psychological Association - https://apastyle.apa.org. Нумерация записей в дополнительном перечне должна совпадать с нумерацией записей в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

• Ниже приводятся сведения об авторах на английском языке после слов «Information about the authors».

• В конце статьи авторы должны указать об отсутствии или наличии конфликта интересов.

Для создания формул и таблиц используются встроенные возможности Microsoft Word. Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Microsoft Word или другими программами и вставляются в нужное место документа, название таблиц и рисунков дублируются на английском языке.

Размеры рисунков не должны превышать границы полей страницы основного текста документа с учетом подрисуночной подписи. Рисунки издательством не редактируются. Если рисунок по ширине превышает размер колонки, то необходимо ставить перед ним и после него разрыв раздела на текущей странице и располагать рисунок в начале или в конце страницы.

Рисунки, надписи и объекты Microsoft Word должны перемещаться вместе с текстом, т.е. быть не поверх текста.

Шаблон для оформления статьи можно скачать на сайте журнала: https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest.

К статье необходимо предоставлять следующие документы: **экспертное заключение, согласие каждого автора на размещение статьи, согласие на обработку персональных данных**.

К публикации принимаются статьи, **ранее нигде не опубликованные** и не представленные к печати в других изданиях. Статьи, отбираемые для публикации в журнале, проходят двухстороннее слепое рецензирование. Автор статьи имеет право предложить двух рецензентов по научному направлению своего исследования.

Публикации в журнал принимаются на русском и английском языках.

Электронная версия публикации должна быть отправлена в формате текстового редактора Microsoft Word (расширения .doc, .docx) по электронной почте по адресу polz_journal@mail.ru. Название файла формируется из фамилии и инициалов первого автора (к примеру, «ИвановАА.doc). Если статей несколько, то к названию файла через знак подчеркивания добавляется порядковый номер (к примеру, «ИвановАА_1.doc»).

Все статьи будут проверены в системе «Антиплагиат», при оригинальности менее 75 % статьи будут возвращены авторам.

Контактная информация:

Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46, 119 ГК, почтовый индекс: 656038.
Стопорева Татьяна Александровна – тел.: 8 (3852) 290946, e-mail: polz_journal@mail.ru.

Подписано в печать 04.10.2024. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл. п. л. 28,36 Тираж 100 экз. Заказ 2024 – 38.
Отпечатано в типографии АлтГТУ им. И. И. Ползунова
Адрес типографии: 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46

АлтГТУ им. И.И. Ползунова
656038 г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, каб. 119 главного корпуса
тел. +7 (3852) 29-09-46
сайт: https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest/
e-mail: polz_journal@mail.ru
Дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доцент кафедры ТИАрх