



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

ВОСТОЧНО - СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ

(ВЕСТНИК ВСГУТУ)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»
(ВСГУТУ)

ВЕСТНИК
Восточно-Сибирского государственного
университета технологий и управления
(Вестник ВСГУТУ)

Научно-технический журнал

№ 2 (93)

Улан-Удэ
Издательство ВСГУТУ
2024

12+

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК
Восточно-Сибирского государственного университета
технологий и управления
(Вестник ВСГУТУ)

2024

апрель-июнь

№ 2 (93)

ISSN 2413-1997

Учредитель

ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет
технологий и управления»

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-74738

Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций 29 декабря 2018 г.

Главный редактор

Д.В. Шалбуев, д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора

Б.А. Баженова, д-р техн. наук, проф.

С.С. Ямпилев, д-р техн. наук, проф.

Редакционная коллегия

Э.Б. Битуева, д-р техн. наук, проф. (ВСГУТУ, Улан-Удэ); М.Б. Данилов, д-р техн. наук, проф. (ВСГУТУ, Улан-Удэ); Д. Дашижапц, д-р техн. наук, проф., акад. МАН (МГУНТ, Монголия); Э.В. Жалнин, д-р техн. наук, проф. (ВНИИМСХ, Москва); С.Д. Жамсаранова, д-р биол. наук, проф. (ВСГУТУ, Улан-Удэ); М.П. Калашиников, д-р техн. наук, проф. (ВСГУТУ, Улан-Удэ); С.М. Коротов, д-р наук, проф. (МДУ, Швеция); В.А. Кравчук, д-р техн. наук, проф. (ТОГУ, Хабаровск); В.С. Лесовик, д-р техн. наук, проф. (БГТУ, Белгород); С.А. Лхасаранов, канд. техн. наук (ВСГУТУ, Улан-Удэ); Б.Д. Лыгденов, д-р техн. наук, доц. (УТУ, Китай); А.А. Майоров, д-р техн. наук, проф. (СибНИИС РАСХН, Барнаул); С.Н. Максимова, д-р техн. наук, проф. (Дальрыбвтуз, Владивосток); Н.И. Овчинникова, д-р техн. наук, проф. (ИрГАУ, Иркутск); Д.Н. Раднаев, д-р техн. наук, доц. (БГСХА, Улан-Удэ); Л.А. Урханова, д-р техн. наук, проф. (ВСГУТУ, Улан-Удэ), В.Е. Рогов, д-р техн. наук, проф. (ВСГУТУ, Улан-Удэ), Т.С. Дембелова, д-р техн. наук, вед. науч. сотр. (ИФМ СО РАН, Улан-Удэ), Б.Б. Бадмаев, д-р техн. наук, доц. (ВСГУТУ, Улан-Удэ).

Журнал «Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по следующим специальностям с 07.03.2023: 4.3.3 – Пищевые системы (технические науки), 4.3.5 – Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ ((биологические науки, технические науки), 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки), с 01.02.2022: 2.1.5 – Строительные материалы и изделия (технические науки).

Электронная версия размещается на сайте vestnik.esstu.ru

Журнал представлен в НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ (НЭБ)

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Журнал включен в базу данных EBSCOPUBLISHING (USA) и ЭБС ООО «ЛАНЬ»

Адрес редакции: 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В, строение 1.

Телефон: (3012) 417234; 89021676994; факс: (3012) 417150; e-mail: vestnikvsgutu@mail.ru, office@esstu.ru

Подписной индекс в каталоге «Электронное подписное агентство» АО Почта России – ПН190.

© ВСГУТУ, 2024

Содержание

4.3.3 – ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ (БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)	5
Амгалан У., Ханхалаева И.А., Батуева А.Ф. Особенности потребительских предпочтений при выборе мяса жителями г. Улан-Батора	5
Рудик Ф.Я., Фоменко О.С., Куценкова В.С., Сагингалиева А.Г. Принципы, общая схема и обоснование эффективности теплопередачи при производстве мясных продуктов питания	12
Хамируев Т.Н., Баженова Б.А., Базарон Б.З., Дашинимаев С.М., Будажданаев Б.Ц., Титова И.И. Экстерьерно-конституциональные характеристики и химический состав мяса лошадей ульдургинской породы .	19
Сярова Л.Н., Иванова Н.Г., Забалуева Ю.Ю., Ниязбаев Х.Р. Возможность использования кукурузы в производстве мясорастительных консервов.....	30
4.3.5 – БИОТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ (БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)	37
Тихонов С.Л., Тихонова Н.В. Пищевой пептид для предупреждения избыточной массы тела: виртуальный скрининг прогнозирования токсичности и выведения.....	37
Болхонов Б.А., Жамсаранова С.Д., Шалбуев Д.В. Компьютерное моделирование органических форм цинка и селена на основе белка коллагена	46
Гомбоева С.В., Прудова Л.Ю. Микробиологическая оценка коммерческих биопрепаратов	55
4.3.1 – ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)	64
Грибкова В.А., Семёнов Е.В., Славянский А.А., Николаева Н.В. Классификация сыпучей смеси в пневмосепараторе.....	64
Бадмаев Ю.Ц., Дроздов А.С., Дугаров Д.Г., Гильдибрант М.И. Теоретические исследования процесса образования биогаза в метантенке с биофильтром.....	75
Аммосов И.Н., Дондоков Ю.Ж., Юсупов Ш.Т., Дринча В.М. Исследование сыпучести зерна и разработка универсального аэратора колонкового типа	82
Жачкин С.Ю., Трифионов Г.И., Пустоветов А.В., Стрункин П.В. Повышение износостойкости композиционного покрытия на основе железа при восстановлении специального оборудования	92
2.1.5 – СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)	100
Кондратенко А.С., Буянтуев В.Т., Иванов А.А., Хардаев П.К., Заяханов М.Е. К вопросу получения форстеритсодержащего литья из хвостов бороизвлечения и стеклобоя электродуговым способом	100
Лхасаранов С.А., Урханова Л.А., Иванов А.А., Смирнягина Н.Н., Сэргэлэн П. Исследование фазового состава композиционных вяжущих для гидротехнического бетона	112
Правила оформления статей для журнала «Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления» (Вестник ВСГУТУ)	120

Contents

4.3.3 – FOOD SYSTEMS (BIOLOGICAL SCIENCES, TECHNICAL SCIENCES)	5
Amgalan U., Khankhalaeva I.A., Batueva A.F. ULAANBAATAR (MONGOLIA) CITIZEN ATTITUDES AND PREFERENCES REGARDING MEAT	5
Rudik F.Ya., Fomenko O.S., Kutsenkova V.S., Sagingalieva A.G. HEAT TRANSFER IN MEAT FOOD PRODUCTION: PRINCIPLES, GENERAL OUTLINE AND RATIONALE	12
Khamiruev T.N., Bazhenova B.A., Bazarov B.Z., Dashinimaev S.M., Budazhanaev B.Ts., Titova I.I. EXTERIOR AND CONSTITUTIONAL CHARACTERISTICS AND CHEMICAL COMPOSITION OF HORSE MEAT OF THE ULDURGINSKAYA BREED	19
Syarova L.N., Ivanova N.G., Zabalueva Yu.Yu., Niazbaev H.R. POSSIBILITY OF USING CORN IN PRODUCTION OF CANNED MEAT AND VEGETABLES	30
4.3.5 – BIOTECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS AND BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES (BIOLOGICAL SCIENCES, TECHNICAL SCIENCES)	37
Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. FOOD PEPTIDE FOR THE PREVENTION OF OVERWEIGHT: VIRTUAL SCREENING OF TOXICITY PREDICTION AND ELIMINATION	37
Bolkhonov B.A., Zhamsaranova S.D., Shalbuev D.V. COMPUTER MODELLING OF COLLAGEN PROTEIN ZINC AND SELENIUM ORGANIC FORMS.....	46
Gomboeva S.V., Prudova L.Yu. MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF COMMERCIAL BIOLOGICAL PRODUCTS	55
4.3.1 – TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (TECHNICAL SCIENCES)	64
Gribkova V.A., Semyonov E.V., Slavyansky A.A., Nikolaeva N.V. CLASSIFICATION OF LOOSE MIXTURE IN PNEUMATIC SEPARATOR	64
Badmaev Yu.Ts., Drozdov A.S., Dugarov D.G., Gildibrant M.I. THEORETICAL STUDIES ON PROCESS OF BIOGAS FORMATION IN METHANE TANK WITH BIOFILTER.....	75
Ammosov I.N., Dondokov Yu.Zh., Yusupov Sh.T., Drincha V.M. STUDY OF GRAIN FLOWABILITY AND DESIGN OF UNIVERSAL CORE TYPE AERATOR	82
Zhachkin S.Yu., Trifonov G.I., Pustovetov A.V., Strunkin P.V. INCREASING OF WEAR RESISTANCE OF IRON-BASED COMPOSITE COATING WHEN RESTORING SPECIAL EQUIPMENT	92
2.1.5 – CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS (TECHNICAL SCIENCES)	100
Kondratenko A.S., Buyantuev V.T., Ivanov A.A., Khardaev P.K., Zayakhanov M.E. PROBLEM OF OBTAINING FORSTERITE-CONTAINING CASTING FROM BORON TAILINGS AND CULLET BY ELECTRIC ARC METHOD	100
Lkhasaranov S.A., Urkhanova L.A., Ivanov A.A., Smirnyagina N.N., Sergelen P. RESEARCH OF THE PHASE COMPOSITION OF COMPOSITE BINDERS FOR HYDRAULIC CONCRETE.....	112

У. Амгалан¹, аспирант, e-mail: amgalan@otgontenger.edu.mn
И.А. Ханхалаева², д-р техн. наук, проф., e-mail: irinakhan62@mail.ru
А.Ф. Батуева², канд. техн. наук, доц., e-mail: baf220304@gmail.com

¹ Университет «Отгонтэнгэр», г. Улан-Батор, Монголия

² Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

УДК 366.12:637.5 (517.3)

ОСОБЕННОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ МЯСА ЖИТЕЛЯМИ г. УЛАН-БАТОРА

В статье представлен анализ основных факторов, влияющих на потребительские предпочтения при выборе мяса. В качестве респондентов были опрошены потребители г. Улан-Батора, выборка составила 950 человек. Результаты оценки потребительских предпочтений были получены путем статистической обработки данных и вычисления средних данных оценок (ACS) и стандартного отклонения (SD) с помощью программы SPSS Statistics 25.0 и метода анализа основных компонентов с ортогональным вращением «Varimax Principal Component Analysis» (PCA). Результаты исследования показали, что потребители делают выбор на основе внешнего вида мяса, что видно из полученных данных (среднее значение составило 3,79, SD=1,32). Это означает, что внешний вид мяса является самой важной качественной характеристикой для потребителей г. Улан-Батора. Кроме того, анализ качественных показателей выявил, что потребители практически не обращают внимание на размеры жировой прослойки мяса и на факторы его возможного загрязнения окружающей средой.

Ключевые слова: мясо, потребители, потребительские предпочтения, качество и безопасность мяса, поведение потребителей, статистические методы.

ULAANBAATAR (MONGOLIA) CITIZEN ATTITUDES AND PREFERENCES REGARDING MEAT

U. Amgalan¹, P.G. student

I.A. Khankhalaeva², Dr. Sc. Engineering, Prof.

A.F. Batueva², Cand. Sc. Engineering, Associate Prof.

¹Otgontenger University, Ulaanbaatar, Mongolia

²East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude

This article aims to outline factors that influence preferences of meat consumers. The survey is based on interviews of 950 consumers in Ulaanbaatar. The results of consumer preference were obtained by statistical data processing and average score data calculating (ACS) and standard deviation (SD) with SPSS Statistics ver. 25.0 program using Varimax and Principal Component Analysis (PCA) orthogonal rotation principal component analysis method. The results show that the consumer preference regarding meat is based on its outside, which is evident from the data obtained (the mean value was 3.79, SD=1.32). This means that the outside of meat is the most important quality characteristic for Ulaanbaatar consumers. In addition, the analysis of qualitative indicators revealed that consumers pay little attention to the size of fat in meat and factors of its possible environmental contamination.

Key word: meat, consumers, consumer preferences, meat quality and safety, consumer behavior, statistical methods.

Введение

Политика продовольственной безопасности и правовая среда Монголии основаны на главном принципе, согласно которому «монголы имеют право на жизнь...», как указано в статье 16.1 главы 2 Конституции Монголии. В соответствии с этим человек должен иметь возможность

выбрать качественный, безопасный и полноценный пищевой продукт независимо от экономических, общественных условий, а также от географического расположения. В связи с этим первостепенными условиями при выборе продукции являются ее доступность, полноценность, безопасность и качество. В данном контексте производство пищевой продукции направлено на удовлетворение ежедневных потребностей населения всеми видами продуктов, отвечающих требованиям безопасности и нормам физиологических потребностей в основных компонентах (белки, жиры, углеводы, витамины и т. д.), а также их доступность как для городских жителей, так и для жителей труднодоступных территорий.

Мясо можно считать частью сбалансированной диеты, содержащей ценные питательные вещества, полезные человеку [1]. Оно является источником белка, железа, цинка и витаминов группы В [2]. Так, при его ежедневном употреблении взрослый человек может удовлетворить суточную потребность в белке, железе, витамина РР на 50 %, витаминов В2, В6 и В12 на 15 %. В частности, железо в мясе усваивается человеком в 5–8 раз лучше, чем железо в растительных продуктах [3].

Мясо имеет свои особенности в зависимости от вида и породы скота. Например, общий химический состав конины принципиально не отличается от мяса других животных, но хорошо переваривается за счет преобладания миоальбумина, глобулина и миогенного белка, содержащих незаменимые аминокислоты [4]. Конина богата ненасыщенными жирными кислотами. Содержание таких минеральных веществ, как фосфор, кальций, железо, магний и калий, не уступает содержанию в мясе других животных [5]. Проведено большое количество исследований, в которых подробно изучали свойства мяса с учетом породы, возраста и пола животных.

Для населения Монголии мясо является стратегическим продуктом и занимает значительную долю потребительской корзины [2], поэтому вопрос производства качественных и безопасных мясных продуктов на ее территории находится под государственным контролем. Качество мяса, представленного на продовольственном рынке г. Улан-Батора, во многом зависит от пастбищ (кормовой базы), численности и структуры стада, уровня ветеринарного обслуживания скота, убоя и разделки, транспортировки, хранения и условий реализации мяса. По состоянию на конец 2021 г., в Монголии насчитывалось 67,3 млн голов скота [6]. По состоянию на 2020 г., в пищу было использовано 17,9 млн голов скота и заготовлено 464,2 тыс. т мяса на все население [7].

Для сохранения мяса в течение года и последующего употребления на пищевые цели монголы используют традиционные методы и технологии, позволяющие не терять в процессе хранения пищевую ценность и потребительские свойства. К большому сожалению, широкое внедрение современных технологий производства мясопродуктов привело к утрате традиционных методов и технологий, которые позволяли сохранять их пищевую ценность и потребительские свойства. В связи с этим внедрение современных технологий переработки мяса с учетом традиционных особенностей, которые передавались из поколения в поколение, позволило бы создать продукты, отвечающие вкусовым предпочтениям различных групп потребителей. Поэтому в последние годы активно изучают потребительский спрос на мясопродукты.

Следует отметить, что наметилась тенденция исследований потребительского поведения (Consumer behavior theory), основанная на изучении процессов, влияющих на выбор покупателей при приобретении товара [8, 9]. В частности, при изучении качества мяса и мясных продуктов данная теория была использована для определения осведомленности покупателей о качестве продукции и степени ориентации информации на потребителей [10]. В основу теории положены так называемые сигналы качества, которые позволяют оценить качество продуктов и повысить спрос на них. Эти сигналы можно условно классифицировать на «внешние» и «внутренние». «Внутренние» сигналы обычно включают в себя ряд показателей качества, которые важны при определении потребительских предпочтений, такие как органолептические, физико-химические показатели и т. д. «Внешние» сигналы связаны с информацией о продукте, которую можно изменить (бренд, упаковка, место происхождения и т. д.). Однако некоторые качествен-

ные показатели можно определить только после покупки продукции или ее использования. Согласно исследованию Вербекке и др., был сделан вывод о том, что качественные критерии потребителей обычно соответствуют их ожиданию [2].

В связи с изменениями окружающей среды, демографии, образа жизни, уровня знаний, с изменением мотивации покупки, из-за увеличения проблем, связанных с безопасностью, здоровьем и этическими факторами, внешние сигналы качества являются одними из определяющих при измерении потребительских предпочтений.

Цель исследования – оценка потребительских предпочтений разных групп населения, проживающих в г. Улан-Баторе, а также выявление уровня их пищевой грамотности в вопросах выбора качественного и безопасного мяса.

Материалы и методы исследования

Исследование было проведено онлайн методом случайного выбора среди людей старше 18 лет. Объем выборки составил 950 человек. В ходе исследования были определены показатели для изучения факторов, влияющих на принятие решения при покупке мяса потребителями г. Улан-Батора, и выявления их осведомленности о его качестве. Для проведения анкетирования использовалась пятибалльная шкала Лайкерта, где 1 – «совсем не согласен», 5 – «полностью согласен». По каждому показателю определяли уровень согласованности мнений потребителей для выявления показателей, стимулирующих спрос.

Для исследования уровня осведомленности потребителей о качестве продукции также использовалась балльная шкала. Средние значения (ACS) и средние стандартные отклонения (SD) были рассчитаны путем объединения оценок респондентов по каждому критерию. Анализ надежности внутренней согласованности показателей тестирования проведен с помощью коэффициента Кронбаха. Признанный лимит надежности был установлен в 0,7 балла. Обработка данных исследования проводилась с помощью 25.0 версии программы SPSS Statistics с использованием статистического метода – анализа основных компонентов с ортогональным вращением «Varimax Principal Component Analysis» (PCA). Первое значение определялось как значение, большее или равное 1. Если абсолютное начальное значение больше 0,3, переменная включалась в группу. Дискриминантный анализ был проведен при разных измерениях, шкала рассчитывалась при уровне значимости 1 %.

Динамический кластерный анализ выполнялся с использованием переменных, относящихся к различным показателям качества мяса. Для дискриминантного анализа был применен дисперсный анализ (ANOVA) потребительских групп. ANOVA использовали на уровнях значимости 1, 5, 10 % для идентификации групп пользователей на основе их социальных, экономических и демографических характеристик.

Результаты исследования и их обсуждение

На первоначальном этапе исследований для выявления уровня пищевой грамотности потребителей г. Улан-Батора был проведен социологический опрос 950 респондентов. Анализ случайной выборки респондентов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика выборки респондентов

Критерий	Категория	Количество респондентов	Количество респондентов (%)
1	2	3	4
Пол	мужской	220	23,2
	женский	730	76,8
Возраст	18–20	70	7,4
	21–30	390	41,1
	31–40	270	28,4
	40 <	220	23,2

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Семейное положение	женат / замужем	670	70,5
	холост / не замужем	280	29,5
Образование	среднее	90	9,5
	профессиональное	50	5,3
	высшее	800	84,2
	без образования	10	1,1
Религия	буддизм	460	48,4
	христианство	40	4,2
	ислам	10	1,1
	шаманизм	80	8,4
	другие	40	4,2
	атеист	320	1,1
Национальность	халха	730	76,8
	другие	220	23,2
Общественная группа	государственный служащий	260	27,4
	частная организация	390	41,1
	частный предприниматель	90	9,5
	безработный	20	2,1
	другие (студент, школьник, пенсионер и т. д)	190	20,0
Жилищные условия	в собственности	780	82,1
	аренда	170	17,9
Вид жилья	квартира	650	68,4
	таунхаус	20	2,1
	юрта	100	10,5
	частный дом	150	15,8
	общежитие	30	3,2

Анализ случайной выборки респондентов, представленный в таблице 1, показал, что большинство опрошенных – это женщины (76,8 %), состоящие в браке (70,5 %), буддийского вероисповедания (48,4 %). Средний возраст участников составил 33±1 год, 41,1 % – в возрасте 21–30 лет и 28,4 % – в возрасте 31–40 лет. Респонденты преимущественно проживали в собственном жилье – 82,1 %, 68,4 % из которых – это квартиры. Этническое большинство составляли халха (76,8 %). Лица с высшим образованием – 84,2 %, работающие в частных организациях – 41,1 %, и государственные служащие – 27,4 %.

На следующем этапе исследований была проведена оценка потребительских предпочтений при покупке мяса.

Когда потребители принимали решение о покупке мяса, их субъективное понимание качества продукции являлось важным фактором. О качестве мяса можно было судить по определенным показателям. В данном исследовании качество мяса было измерено по двум критериям: «внешние» сигналы качества, к которым относятся качественные характеристики мяса (внешний вид, запах, месторасположение точки продажи, стоимость и т. д.) и «внутренние» сигналы качества, такие как безопасность (свежесть мяса, пищевая ценность, жирность, калорийность и т. д.). Терминология показателей была сформулирована с точки зрения доступности их понимания обычными потребителями. Коэффициенты надежности α Кронбаха внешних и внутренних критериев составили 0,91 и 0,96 соответственно (табл. 2, 3).

Результаты исследования показали, что решающими показателями при выборе мяса по уровню значимости являлись внешний вид (3,79) и запах (3,75). Далее потребители уделяли внимание выбору части туши, стоимости и виду торговой точки. В последнюю очередь потребители обращали внимание на месторасположение точки продажи и район выращивания скота.

Таблица 2

Средние значения баллов «внешних» сигналов качества

№	Показатель	Значение±SD	Коэффициент Кронбаха α
1	Внешний вид	3,79±1,32	0,910
2	Запах	3,75±1,38	
3	Части мясной туши	3,74±1,26	
4	Стоимость	3,64±1,36	
5	Вид торговой точки (рынок, магазин, киоск и т. д.)	3,56±1,34	
6	Месторасположение точки продажи	3,44±1,51	
7	Район выращивания скота	3,09±1,44	
Значение и SD = 25,01±7,76; дисперсия = 60,31; количество показателей: 7			

Таблица 3

Средние значения баллов «внутренних» сигналов качества

№	Показатель	Значение±SD	Коэффициент Кронбаха α
1	Мясо здоровых животных	4,09±1,21	0,963
2	Свежесть мяса	4,06±1,26	
3	Калорийность	3,91±1,25	
4	Цвет и вид на разрезе	3,79±1,32	
5	Пищевая ценность	3,76±1,34	
6	Запах	3,75±1,38	
7	Риск загрязнения	3,69±1,34	
8	Жирность мяса	3,63±1,31	
Значение и SD = 30,75±9,29; дисперсия = 86,45; количество показателей: 8			

При изучении «внутренних» сигналов качества (табл. 3) было установлено, что потребители делали свой выбор, основываясь на таких показателях, как мясо от здоровых животных – 4,09, так и свежесть мяса – 4,06 балла.

Далее исследование потребительских предпочтений мяса было направлено на изучение взаимосвязи безопасности, органолептических показателей и аспектов, связанных с окружающей средой и условиями продаж. Для этого был применен метод анализа основных компонентов (РСА) на основе трех групп показателей (табл. 4). Предварительно были определены индекс Кайзера – Мейера – Олкина (КМО) и критерий сферичности Бартлетта с целью выявления репрезентативности и применимости выбранных показателей факторному анализу. Результаты составили 0,925 и ($p < 0,01$) соответственно, что свидетельствовало о том, что качество выборки показателей с различными групповыми характеристиками хорошее.

Таблица 4

Результаты РСА анализа (***) значимость на $p < 0,01$

Показатель	Безопасность	Окружающая среда и обслуживание	Органолептический показатель
1	2	3	4
Месторасположение точки продаж	-0,243	0,566	-0,021
Вид торговой точки (рынок, магазин, киоск и т. д.)	-0,130	0,524	-0,181
Стоимость	-0,303	0,021	0,812
Регион выращивания скота	-0,146	0,275	0,133
Цвет	0,104	-0,224	0,327
Запах	0,118	0,079	0,094
Части мясной туши	0,144	-0,145	0,158
Свежесть мяса	0,177	-0,285	0,270
Гигиена	0,155	-0,164	0,159
Сочность мяса	0,190	0,082	-0,239

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Калорийность	0,225	-0,055	-0,126
Жирность мяса	0,218	0,030	-0,243
Риск загрязнения	0,216	0,105	-0,347
p-value	0,000	0,000	0,000
Статистические факторы			
Исходные данные	8,999	0,972	0,709
Кумулятивная дисперсия (%)	69,224	76,697	82,152
Индекс Кайзера – Мейера – Олкина и тест Бартлетта			
Мера репрезентативности выборки по Кайзеру – Мейеру – Олкину			0,925
Тест Бартлетта на сферичность	χ^2		1317,888
	df		78
	Sig.		0,000

Проведенный анализ выявил, что первая группа критерия «безопасность» определялась такими показателями, как жирность и сочность мяса, калорийность и риск загрязнения. На вторую группу показателей «окружающая среда и обслуживание» в первую очередь влияли «внешние» показатели качества: месторасположение точки продаж, вид торговой точки и регион выращивания скота. Третья группа показателей определялась стоимостью и органолептическими показателями, такими как цвет и запах мяса, его свежесть, сочность, а также такими критериями, как регион выращивания скота, части мясной туши.

Заключение

Мясо – это стратегический продукт питания для жителей Монголии, который является важным объектом исследований, способным повлиять на продовольственную и национальную безопасность государства. Анализ потребительских предпочтений показал, что при выборе мяса первостепенными факторами, предопределяющими выбор, являются стоимость и органолептические показатели (цвет, запах и внешний вид). При этом только небольшая часть покупателей обращала внимание на другие показатели качества, включая его безопасность.

К факторам, которые оказывали наименьшее влияние на выбор мяса потребителями, относились жирность, калорийность, риск загрязнения и месторасположение точки продаж. Испокон веков монголы ели жирное мясо и придерживались традиционных способов приготовления, поэтому и в настоящее время они не обращают внимания на жирность мяса и не воспринимают его как отдельный показатель. Влияние расположения точки продаж и их вида (рынок, магазин, киоск и т. д.) можно объяснить тем фактом, что потребители Монголии больше заинтересованы в выборе и покупке дешевого мяса. Например, жители г. Улан-Батора в основном покупают мясо на специализированном мясном рынке под названием «Хучит Шонхор».

Из результатов исследования видно, что монголы делают выбор в пользу покупки мяса, не обращая особого внимания на риск его загрязнения в процессе разделки, транспортирования, реализации и т. д. К сожалению, этот вывод является очень важным и его нельзя игнорировать. Несмотря на то что мясо получают от относительно здоровых животных, выращивают на хороших пастбищах, фактором загрязнения мяса может являться несоблюдение санитарно-гигиенических норм на этапах жизненного цикла до его реализации. Кроме того, существует опасность прижизненной контаминации, включая химические, биологические загрязнения в условиях расширения промышленного освоения недр в местах традиционных пастбищных угодий. Нельзя отрицать тот факт, что загрязнение от вышеперечисленных факторов оказывает негативное влияние на здоровье человека.

Таким образом, проведенное исследование выявило большую проблему в сфере потребительской грамотности населения г. Улан-Батора. В связи с этим необходимо провести ком-

плексное исследование влияния внешних факторов во многих сферах, таких как здравоохранение, сельское хозяйство (здоровье скота), экология, окружающая среда, промышленность, а также каналы и условия торговли с целью пропаганды пищевой безопасности.

Библиография

1. The Food and Agriculture Organization (FAO). – URL: <https://www.fao.org> (дата обращения: 22.03.2024).
2. *Вербеке В., Перес-Куэто Ф.Х.А. и др.* Отношение и предпочтения европейских граждан и потребителей в отношении говядины и свинины // *Meat Science*. – 2010. – Vol. 84. – P. 284–292.
3. *Энхтуяа Б.* Монгол малын махны, хүнс тэжээлийн үнэт чанар. – URL: https://issuu.com/vcmongolia/docs/iii_mah/1 (дата обращения: 22.03.2024).
4. *Гунгаа Ж.* Монгол адууны махны зарим шинж чанар. – Улаанбаатар: Улсын хэвлэлийн газар, 1978. – 61 с.
5. *Төмөржав М.* Бэлчээрийн монгол мал. – Улаанбаатар, 1989. – 398 с.
6. Национальное статистическое управление Монголии. Животноводство–2021. – 2022. – URL: <https://www.nso.mn/en> (дата обращения: 22.03.2024).
7. Национальное статистическое управление Монголии. Показатели статистики продовольственной безопасности 2019. – 2020. – URL: <https://www.nso.mn/en> (дата обращения: 22.03.2024).
8. *Srinivas A., Balaji C.* Investigation on Consumer Buying Behavior // *International Journal of Advanced Scientific Technologies in Engineering and Management Sciences*. – 2015. – Vol. 1, Iss. 1. – P. 17–24.
9. *Шарапова С.М., Ханхалаева И.А., Хамханова Д.Н. и др.* Исследование потребительских предпочтений на рынке мясных полуфабрикатов Республики Бурятия // *Вестник ВСГУТУ*. – 2022. – № 2. – С. 14–21.
10. *Henchion M.M., McCarthy M., Resconi V.C.* Beef quality attributes: a systematic review of consumer perspectives // *ScienceDirect*. – 2017. – P. 1–7.

Bibliography

1. The Food and Agriculture Organization (FAO). – URL: <https://www.fao.org> (access date: 22.03.2024).
2. *Verbeke W., Perez-Cueto F.J.A. et al.* European citizen and consumer attitudes and preferences regarding beef and pork // *Meat Science*. – 2010. – Vol. 84. – P. 284–292.
3. *Enkhtuyaa B.* Meat of Mongolian cattle and its nutritive value. – URL: https://issuu.com/vcmongolia/docs/iii_mah/1 (access date: 22.03.2024).
4. *Gungaa Zh.* Some features of Mongolian horsemeat. – Ulaanbaatar: State Publishing House, 1978. – 61 p.
5. *Tomorzhav M.* Mongolian grazing cattle. – Ulaanbaatar, 1989. – 398 p.
6. National Statistical Office of Mongolia. Animal husbandry–2021. – 2022. – URL: <https://www.nso.mn/en> (access date: 22.03.2024).
7. National Statistical Office of Mongolia. Food security statistics indicators 2019. – 2020. – URL: <https://www.nso.mn/en> (access date: 22.03.2024).
8. *Srinivas A., Balaji C.* Investigation on Consumer Buying Behavior // *International Journal of Advanced Scientific Technologies in Engineering and Management Sciences*. – 2015. – Vol. 1, Iss. 1. – P. 17–24.
9. *Sharapova S.M., Khankhalaeva I.A., Khamkhanova D.N. et al.* Study of consumer preferences in the market of semi-finished meat products // *ESSUTM Bulletin*. – 2022. – N 2. – P. 14–21.
10. *Henchion M.M., McCarthy M., Resconi V.C.* Beef quality attributes: a systematic review of consumer perspectives // *ScienceDirect*. – 2017. – P. 1–7.

DOI 10.53980/24131997_2024_2_12

Ф.Я. Рудик, д-р техн. наук, проф., e-mail: rudik.sgau@mail.ru

О.С. Фоменко, канд. техн. наук, доц., e-mail: fomenkoos@mail.ru

В.С. Куценкова, канд. техн. наук, доц., e-mail: vasilissakutsenkova@yandex.ru

А.Г. Сагингалиева, аспирант

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии
им. Н.И. Вавилова, г. Саратов

УДК 664.932.22

ПРИНЦИПЫ, ОБЩАЯ СХЕМА И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

В статье представлены результаты исследований, касающиеся разработки технологической схемы поточно-технологической линии производства жидких пакетированных бульонов в виде готового продукта быстрого питания. Представлены результаты аналитического обоснования технологических операций и процесса теплопередачи при варке мяса при производстве жидких пакетированных бульонов. Проводимые исследования основывались на теоретическом анализе закономерностей теплопроводности от гидродинамических и емкостных свойств среды и продукта переработки. На основании результатов исследования была разработана замкнутая поточно-технологическая линия, представляющая собой целостную структурированную систему с обоснованием всех входящих в нее операций технологического процесса и их взаимодействие в комплексе при производстве жидкого пакетированного бульона. Оптимизация операций непрерывного технологического процесса производства способна обеспечивать высокую стерильность, качество жидкого бульона и ресурсосбережение.

Ключевые слова: мясокостный бульон, технологическая схема, замкнутая поточно-технологическая линия, теплопередача, качество, ресурсосбережение.

F.Ya. Rudik, Dr. Sc. Engineering, Prof.

O.S. Fomenko, Cand. Sc. Engineering, Associate Prof.

V.S. Kutsenkova, Cand. Sc. Engineering, Associate Prof.

A.G. Sagingalieva, P.G. student

Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov

HEAT TRANSFER IN MEAT FOOD PRODUCTION: PRINCIPLES, GENERAL OUTLINE AND RATIONALE

The article studies flow chart development for production line of liquid packaged broths in the form of a finished fast-food product. It reports on the results of analytical justification of technological operations and heat transfer process of meat cooking in liquid packaged broths production. The research was based on theoretical analysis of thermal conductivity patterns from hydrodynamic and capacitive properties of medium and processed product. Based on the results of the study, closed flow line was developed, being an integral structured system. It includes all technological process operations and their interaction in complex in liquid packaged broth production. Optimization of continuous process operations ensures high sterility, liquid broth quality and resource economy.

Key words: meat and bone broth, flow chart, closed flow line, heat transfer, quality, resource economy.

Введение

Уровень рентабельности предприятий мясоперерабатывающей промышленности во многом зависит от степени использования сырьевых ресурсов. Высокоэффективных резервов в этом направлении достаточно много, и они направлены на производство продуктов питания,

кормов и всевозможные технические нужды. Одним из высокотехнологичных направлений является производство мясокостных бульонов для обеспечения предприятий общественного питания. Они производятся централизованно на крупных мясоперерабатывающих предприятиях [1–3] со значительными объемами поставки в торговую сеть и потребителю для приготовления на их основе заправочных супов, соусов, первых блюд или в самих предприятиях общественного питания только для собственных нужд.

Другое направление производства жидкого бульона представляет собой навар из мяса, костей и овощей. Он поставляется в жестяных банках, стаканах или чашках из разных типов пластмасс и картонных коробках (в основном Tetra Pak или SIG).

В соответствии с данными ретроспективного анализа рынок жидких охлажденных или замороженных пакетированных бульонов представлен в виде готового продукта быстрого питания. Однако, хотя оно и существует с 2000 г. объемы его производства и употребления снижаются и стали крайне низкими, более популярны сухие суповые концентраты. Это объясняется проблемой длительности хранения, которая, в свою очередь, зависит от развития в продуктах мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, бактерии группы кишечной палочки (колиформы), патогенных микроорганизмов [4–7]. В жидких бульонах их развитие значительно выше. Это объясняется жидкой средой, благоприятствующей развитию очагов и низкими условиями обеспечения стерильности всех операций технологического процесса производства сырья и бульона. Вторым фактором является высокий уровень импортозависимости: такие компании, как Unilever Foods Co, Oscar A/S, Jamarlin Co и др., вначале продвинули продукт на рынке России, а затем прекратили поставки.

Проблема глубокой переработки вторичных ресурсов пищевых производств требует своего решения. Она включает экологический и экономический аспекты. Размещение отходов производства на полигонах для твердых бытовых отходов, сброс их в поверхностные водоемы, сжигание наносят ощутимый вред природным ресурсам и в экологическом плане являются неоправданными и неперспективными. В экономическом отношении рациональная переработка вторичных ресурсов позволит получить дополнительно пищевую, техническую продукцию и корма [8–10].

Производство мясных продуктов неизбежно сопровождается накоплением вторичных ресурсов практически на всех этапах выработки продукции. Основная доля их приходится на операции убоя и разделки мяса. На основании текущих статистических данных в большинстве предприятий, перерабатывающих мясо и общественного питания, только порядка 5–10 % мясокостного сырья используется на пищевые цели, а остальное в лучшем случае используется на производство кормов или утилизируется. Ценный биопотенциал вторичного мясокостного сырья обусловлен высокой концентрацией в нем биологически активных веществ (коллагена, аминокислот, жирных кислот, кальция, фосфора и др.). Содержание минерализованного коллагена в данном сырье может достигать 50 % массы и выше. В связи с этим его целесообразно использовать при производстве пищевых продуктов [11–13].

На основании вышесказанного **целью работы** явилось исследование и разработка технологической схемы поточно-технологической линии производства жидких пакетированных бульонов в виде готового продукта быстрого питания. В **задачи исследования** входило аналитическое обоснование технологических операций и процесса теплопередачи при варке мяса.

Материалы и методы исследований

Методика исследований основывалась на теоретическом анализе закономерностей теплопроводности от гидродинамических и емкостных свойств среды и продукта переработки. При аналитическом исследовании методическая цель была сконцентрирована на изучении целостности системы, позволяющей структурировать все входящие в нее элементы и обосновать их взаимодействие в комплексе [14].

Результаты исследования и их обсуждение

Литературный и патентный поиски предопределили актуальность рассматриваемой научно-исследовательской темы, связанной с оптимизацией операций технологического процесса в непрерывной замкнутой поточно-технологической линии, обеспечивающей высокую стерильность, качество жидкого бульона и ресурсосбережение [14]. Установлена целостность системы, в соответствии с которой изучались элементы, представленные на рисунке 1.



Рисунок 1 – Технологическая схема производства жидкого пакетированного бульона быстрого питания

Измельчение мяса осуществляется с целью оптимизации гидромеханического процесса его нагрева. Варка бульонов в пищеварочных котлах относится к многофакторным сложным гидротермическим процессам, являющимся основополагающими при изучении системы «мясо (обрабатываемое сырье) – вода (теплоноситель)» [15].

Изучаемый процесс имеет свои особенности, присущие целевой функции передачи тепла жидкостным носителем в функции времени и глубины продвижения в нагреваемое мясо. Закономерности теплообмена в данном случае основываются на классических исследованиях Ж.В. Фурье, С.Д. Пуассона, В.А. Михельсона, М. Планка и др. авторов [16, 17].

Более близкое научное направление, связанное с возможностью перехода различных видов энергии в тепловую, необходимую для обработки различных материалов, представлено в работах А.Г. Князевой [18].

В соответствии с закономерностями теплопередачи [19] и на основании второго закона термодинамики теплопередача осуществляется на молекулярном уровне за счет обмена энер-

гией между молекулами, атомами и электронами воды (теплоносителя) и мяса (теплоприемника). Нагреваемая вода, обладающая повышенной температурой, самопроизвольно переходит в нагреваемое мясо и передает ему свое тепло (рис. 2).

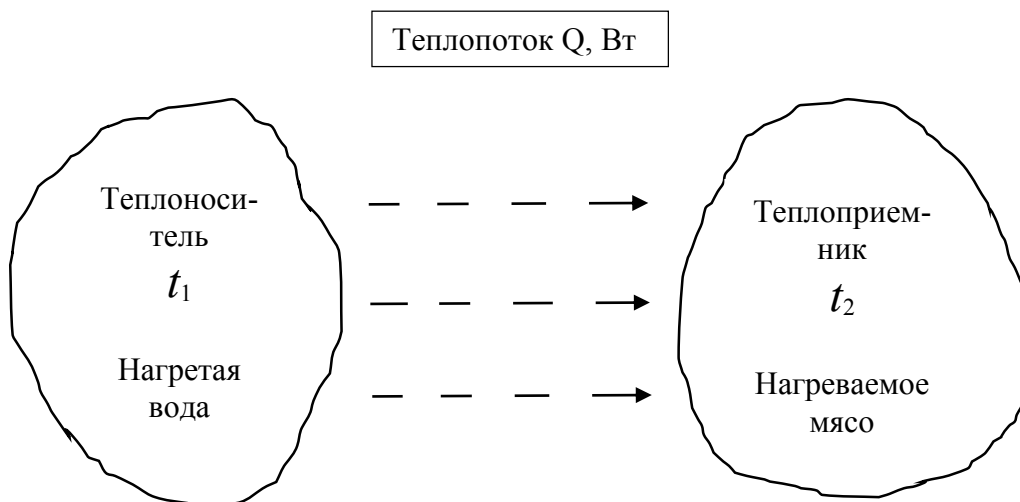


Рисунок 2 – Движущая сила теплопередачи

Передача теплотока Q теплоносителя с температурой t_1 за счет теплопередачи тепла t_2 протекает до определенного периода насыщения по закономерности

$$\Delta t = t_1 - t_2. \quad (1)$$

И он продолжается до момента выравнивания температур, равной насыщенности при $t_1 = t_2 = T$ [19].

$$dQ = kT dF, \quad (2)$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/Км²; dF – насыщаемая теплом элементарная площадь мяса м², размерами которой можно управлять, а также скоростью и продолжительностью нагрева.

На основании выражения (2) следует, что распределение тепла в обрабатываемом мясе в период τ осуществляется в координатах $T = (X, Y, Z, \tau)$ [19, 20]. Данные представлены на рисунке 3.

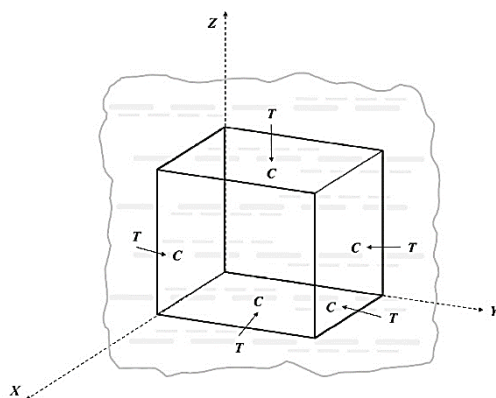


Рисунок 3 – Поля распространения температуры и теплоемкости в объеме мяса

Процесс переноса тепла и воды в глубь куска мяса происходит за счет молекулярной диффузии в насыщаемом твердом теле. Этот процесс, в свою очередь, обуславливает создание переменных полей концентраций $C = f(X, Y, Z, T)$.

Продолжительность массопередачи, нагрева и выравнивания температуры в куске мяса, обладающего волокнистым, препятствующим продвижению теплоносителя строением, обусловливается закономерностью Фурье, которую для нашего случая можно охарактеризовать прямо пропорциональной зависимостью времени нагрева к его линейным размерам. На этом основании исходя из первого закона массопередачи Фика молекулярная диффузия, хаотичная и замедленная на первой стадии нагрева жидкости, по мере повышения тепла приобретает направленное из зоны высоких концентраций (теплоносителя) в зону низких (мясо) и насыщает его теплом:

$$dM = \frac{kTdc}{dlFd\tau} \quad (3)$$

где $\frac{dc}{dl}$ – градиент концентраций в направлении диффузии; $d\tau$ – продолжительность диффузии, ч; $\tau = f(V, T)$, она функционально зависит от объема мяса $V \text{ м}^3$ и температурного поля $T \text{ }^\circ\text{C}$.

Характер изменения тепла в воде при нагреве и его передачи мясу изучался на примере изменения теплоемкости, характеризующей зависимость подаваемого количества тепла для получения единичного изменения температуры обрабатываемого мяса:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (4)$$

В свою очередь, количество теплоты, затрачиваемое при гидротермической обработке мяса, есть отношение теплоемкости (4) к массе мяса, m :

$$C_{уд} = \frac{dQ}{m dt} \quad (5)$$

Расчетами установлен характер изменения температуры воды при ее нагреве. Данные представлены на рисунке 4.

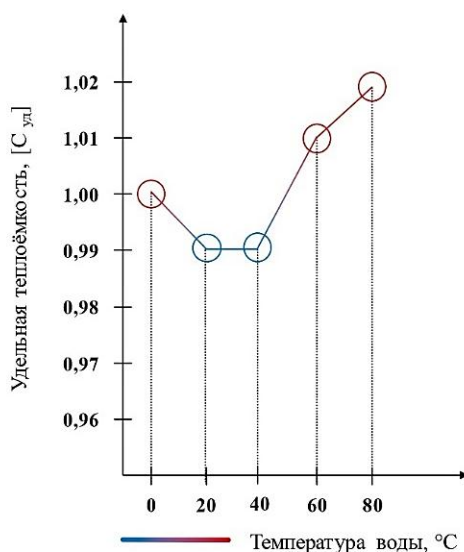


Рисунок 4 – Динамика изменения температуры воды при нагреве

Из графика следует, что удельная теплоемкость воды зависит от прилагаемого температурного поля, она снижается при нагреве от 0 до 37–40 °С и повышается при последующем нагреве при незначительном изменении интенсивности нагрева. Теплопроводность же воды повышается более интенсивно при 0 °С составляет 0,560 Вт/(м·°С), а при 100 °С – 0,684 Вт/(м·°С) увеличивается приблизительно на 0,3 % на каждые 10 °С нагрева.

Заключение

Исходя из исследования закономерности гидротермического состояния теплоносителя (воды), при производстве мясного бульона в электрическом пищеварочном котле с целью повышения производительности и снижения энергозатрат нагрев воды следует проводить в два этапа:

– нагрев воды в бойлере (НБ) от 15 до 70 °С и перелив и варка в пищеварочном котле (ПК) от 70 до 98 °С. Это способствует повышению производительности в 2 раза и снижению энергопотребления $\dot{Q} = \text{НПК} (12,8 \text{ кВт}), \text{НБ} (4,00 \text{ кВт}) = 8,80 \text{ кВт}$ и позволяет сократить время варки бульона;

– обрабатываемая теплоносителем поверхность мяса должна оптимизироваться выражением:

$$dF = (t_{\text{Т.Т.}} - t_{\text{Н.Т.}}) dT, \quad (6)$$

где dF – элементарная обрабатываемая теплоносителем площадь поверхности мяса, м²; $t_{\text{Т.Т.}}$ – текущая температура теплоносителя в переменный период dt , °С; $t_{\text{Н.Т.}}$ – начальная температура теплоносителя, °С.

Библиография

1. Мглинец А.И., Акимова Н.А., Дзюба Г.Н. Технология продукции общественного питания. – СПб.: Изд. дом «Троицкий мост», 2010. – 736 с.
2. Антонова Р.П. Технология приготовления блюд и кулинарных изделий. – СПб.: ПРОФИКС, 2007. – 194 с.
3. Величко Н.А., Машанов А.И., Речкина Е.А. и др. Технология мяса и мясных продуктов. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 270 с.
4. Ребезов М.Б., Мирошникова Е.П., Богатова О.В. и др. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов. Т. 2. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ (НИУ), 2011. – 133 с.
5. Самышин А.В., Рудик Ф.Я., Моргунова Н.Л. и др. Повышение срока годности мясокостных бульонов электрофизическими методами обработки // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 90–92.
6. Доржиева В.В., Ханхалаева И.А., Битиева Э.Б. и др. Исследование качества и безопасности производства комбинированного мясопродукта с использованием барьерной технологии и принципов ХАССП // Вестник ВСГУТУ. – 2019. – № 4 (75). – С. 32–39.
7. Лескова С.Ю., Мерзляков А.А., Пурбуев А.В. и др. Многокомпонентный рассол для создания функциональных мясопродуктов // Вестник ВСГУТУ. – 2023. – № 1 (88). – С. 14–21. – DOI 10.53980/24131997_2023_1_14.
8. Углов В.А., Шелепов В.Г., Бородай Е.В. и др. Перспективы использования вторичных ресурсов мясоперерабатывающих отраслей на основе патентных исследований // Инновации и продовольственная безопасность. – 2020. – № 3 (29). – С. 39–46.
9. Лескова С.Ю., Жаргалова А.Ц., Данилов М.Б. и др. Перспективы рациональной переработки аборигенного крупного рогатого скота // Вестник ВСГУТУ. – 2022. – № 3 (86). – С. 14–20. – DOI 10.53980/24131997_2022_3_14.
10. Дондокова Е.Б., Гаврилова Л.М., Углова Н.П. Приоритетные направления развития мясного подкомплекса России // Вестник ВСГУТУ. – 2012. – № 2 (37). – С. 32.
11. Глотова И.А., Галочкина Н.А., Болтыхов Ю.В. Функциональные коллагенсодержащие субстанции на основе вторичных продуктов животноводства // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2012. – № 4 (328). – С. 16–19.
12. Литовкин А.Н., Глотова И.А., Кривцова О.Ю. Вторичные продукты убоя птицы как сырье для функциональных препаратов животных белков // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 189.
13. Забалуева Ю.Ю., Данилова Л.В., Маламуд Д. Б. и др. Влияние биотехнологической обработки на физико-химические и структурно-механические характеристики деликатесных изделий из мяса птицы // Вестник ВСГУТУ. – 2023. – № 4 (91). – С. 5–13. – DOI 10.53980/24131997_2023_4_5.
14. Щедровицкий Г.П. Принципы и общая схема методологической организации системно-структурных исследований и разработок. – М.: Наука, 1981. – С. 193–227.

15. Ковалёв Н.И., Куткина М.Н., Кравцова В.А. Технология приготовления пищи. – М.: Деловая литература, 2003. – 465 с.
16. Jones E.Z. What is thermodynamic process? // Science, Tech, Math. Thought Co. – 2020. – URL: <https://www.thoughtco.com/thermodynamic-process-2699424>.
17. Белозёрцев В.Н., Благин Е.В. Термодинамика. – Самара: Изд-во СГАУ, 2014. – 88 с.
18. Князева А.Г. Теплофизические основы современных высокотемпературных технологий. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2009. – 356 с.
19. Котовский В.Н. Теплопередача. – М.: Изд-во Московского гос. техн. ун-та гражданской авиации, 2015. – 76 с.
20. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Теплообмен. – М.: Изд. дом МЭИ, 2005. – 550 с.

Bibliography

1. Mglinets A.I., Akimova N.A., Dzyuba G.N. Technology of public catering products. – St. Petersburg: Publishing House “Troitskiy Most”, 2010. – 736 p.
2. Antonova R.P. Technology of preparation of dishes and culinary products. – St. Petersburg: Publishing House PROFIX, 2007. – 194 p.
3. Velichko N.A., Mashanov A.I., Rechkina E.A. et al. Technology of meat and meat products. – М.: Publishing House INFRA-M, 2024. – 270 p.
4. Rebezov M.B., Miroshnikova E.P., Bogatova O.V. et al. Physico-chemical and biochemical foundations of the production of meat and meat products. Vol. 2. – Chelyabinsk: South Ural State University (National Research University), 2011. – 133 p.
5. Samyshin A.V., Rudik F.Ya., Morgunova N.L. et al. Increasing shelf life of meat and bone broths using electrophysical processing methods // The Agricultural Scientific Journal. – 2019. – N 4. – P. 90–92.
6. Dorzhieva V.V., Khankhalaeva I.A., Bitueva E.B. et al. Research of production quality and safety of combined meat products using barrier technology and HACCP principles // ESSUTM Bulletin. – 2019. – N 4 (75). – P. 32–39.
7. Leskova S.Yu., Merzlyakov A.A., Purbuev A.V. et al. Multi-component brine for creating functional meat products // ESSUTM Bulletin. – 2023. – N 1 (88). – P. 14–21. – DOI 10.53980/24131997_2023_1_14.
8. Uglov V.A., Shelepov V.G., Boroday E.V. et al. Prospects for secondary resources use in meat processing industries based on patent research // Innovations and Food Safety. – 2020. – N 3 (29). – P. 39–46.
9. Leskova S.Yu., Zhargalova A.Ts., Danilov M.B. et al. Prospects for rational processing of native cattle // ESSUTM Bulletin. – 2022. – N 3 (86). – P. 14–20. – DOI 10.53980/24131997_2022_3_14.
10. Dondokova E.B., Gavrilova L.M., Uglova N.P. The main approaches of development of meat sub-complex of Russia // ESSUTM Bulletin. – 2012. – N 2 (37). – P. 133–137.
11. Glotova I.A., Galochkina N.A., Boltykhov Yu.V. Functional collagen-containing substances based on secondary animal products // Izvestia vuzov. Food technology. – 2012. – N 4 (328). – P. 16–19.
12. Litovkin A.N., Glotova I.A., Krivtsova O.Yu. Secondary products of poultry slaughter as raw materials for functional animal protein preparations // Modern high technologies. – 2014. – N 5–1. – P. 189.
13. Zabalueva Yu.Yu., Danilova L.V., Malamud D. B. et al. The effect of biotechnological processing on physical, chemical and structural mechanical characteristics of delicatessen poultry products // ESSUTM Bulletin. – 2023. – N 4 (91). – P. 5–13. – DOI 10.53980/24131997_2023_4_5.
14. Shchedrovitskiy G.P. Principles and general scheme of methodological organization of system-structural research and development. – М.: Publishing House “Nauka”. – 1981. – P. 193–227.
15. Kovalyov N.I., Kutkina M.N., Kravtsova V.A. Food Engineering. – М.: Publishing House “Business literature”. – 2003. – 465 p.
16. Jones E.Z. What is thermodynamic process? // Science, Tech, Math. Thought Co. – 2020. – URL: <https://www.thoughtco.com/thermodynamic-process-2699424>.
17. Belozyortsev V.N., Blagin E.V. Thermodynamics. – Samara: SSAU, 2014. – 88 p.
18. Knyazeva A.G. Thermophysical foundations of modern high-temperature technologies. – Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2009. – 356 p.
19. Kотовский V.N. Heat transfer. – М.: Moscow State Technical University of Civil Aviation, 2015. – 76 p.
20. Tsvetkov F.F., Grigoriev B.A. Heat and mass transfer. – М.: MPEI Publishing House, 2005. – 550 p.

DOI 10.53980/24131997_2024_2_19

Т.Н. Хаамируев¹, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., доц., e-mail: tnik0979@mail.ru

Б.А. Баженова², д-р техн. наук, проф., e-mail: bayanab@mail.ru,

Б.З. Базарон¹, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., e-mail: bazaron1962@mail.ru

С.М. Дашинимаев¹, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., e-mail: solbonmd@mail.ru

Б.Ц.³ Будажанаев, председатель СПК «Ульдурга», e-mail: uldurga.rb@mail.ru

И.И. Титова², канд. техн. наук, доц., e-mail: ititova_u@mail.ru

¹ НИИ ветеринарии Восточной Сибири – филиал СФНЦА РАН, г. Чита

² Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

³ СПК «Ульдурга», Еравнинский район, Республика Бурятия

ЭКСТЕРЬЕРНО-КОНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МЯСА ЛОШАДЕЙ УЛЬДУРГИНСКОЙ ПОРОДЫ

УДК 636.033

Развитие табунного коневодства с увеличением численности поголовья мясных лошадей, хорошо приспособленных к условиям круглогодичного пастбищного содержания, является актуальной проблемой животноводства.

Авторами в сотрудничестве с ФГБНУ «Всероссийский НИИ коневодства» была создана новая порода лошадей, названная ульдургинской, путем скрещивания лошадей бурятской породы с производителями русской тяжеловозной, русской рысистой и забайкальской пород для повышения продуктивности и воспроизводительных качеств животных. Целью работы явилось изучение экстерьерно-конституциональных характеристик и мясной продуктивности молодняка лошадей в зависимости от породы. Опытные исследования были проведены в условиях племенных хозяйств СПК «Ульдурга» и ООО «Домна» (Еравнинский район Республики Бурятия), состав мясного сырья был изучен в лаборатории Центра коллективного пользования «Прогресс» ВСГУТУ. Анализ экстерьерно-конституциональных особенностей особей новой породы свидетельствует о том, что они отличаются крепким костяком и выраженными мясными формами, что подтверждено значениями показателя индекс телосложения. Отмечено достоверное повышение массы тела молодняка ульдургинской породы по сравнению с бурятской: в 6 мес. – на 51,6 кг, в 18 мес. – на 45,7 кг, в 30 мес. – на 51,9 кг. Исследования химического состава мышечной ткани показали более высокое содержание белка (на 6,4–9,3 %) в мясе туш особей ульдургинской породы.

Ключевые слова: лошади, ульдургинская порода, живая масса, прирост, индексы телосложения, конина, химический состав.

T.N. Khamiruev¹, Cand. Sc. Agriculture, Leading Researcher,

B.A. Bazhenova², Dr. Sc. Engineering, Prof.

B.Z. Bazaron¹, Cand. Sc. Agriculture, Senior Researcher,

S.M. Dashinimaev¹, Cand. Sc. Agriculture, Senior Researcher

B.Ts. Budazhanaev³

I.I. Titova², Cand. Sc. Engineering, Associate Prof.

¹ Research Institute of Veterinary Medicine of Eastern Siberia – branch of the SFSC RAS, Chita

² East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude

³ SPK "Uldurga" Eravninsky district, Republic of Buryatia

EXTERIOR AND CONSTITUTIONAL CHARACTERISTICS AND CHEMICAL COMPOSITION OF HORSE MEAT OF THE ULDURGINSKAYA BREED

The development of horse herd farming with increase in number of meat horses, exclusively adapted to the conditions of year-round grazing, is an urgent problem of animal husbandry. Russian Research Institute of

Horse Breeding in collaboration with the Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian Research Institute of Horse Breeding" bred Uldurginskaya horse. They crossbred Buryat horses with stallions of Russian draft horse, Russian trotter and Transbaikalian horse to increase productivity and reproductive qualities of animals. The aim of the present research was to study the exterior and constitutional characteristics and meat productivity of young horses, depending on breed. Experimental studies were conducted in conditions of breeding farms of Agricultural Production Cooperative "Uldurga" and OOO "Domna" (Yeravninskiy district, Republic of Buryatia), the composition of meat raw materials was studied in the laboratory of Center for Collective Use "Progress", ESSUTM. The analysis of exterior and constitutional features of new breed specimen indicates that they differ in strong bones and distinct meat forms, which is confirmed with body mass index. There was significant increase in body weight of young Uldurginskaya breed compared to Buryat one: at 6 months by 51.6 kg, at 18 months by 45.7 kg, at 30 months by 51.9 kg. Studies of chemical composition of muscle tissue have shown higher protein content (by 6.4–9.3 %) in meat of Uldurginskaya breed.

Key words: horses, Uldurginskaya breed, live weight, gain, body mass indices, horse meat, chemical composition.

Введение

Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия от 14.07.2012 № 717 (ред. от 13.06.2023) (далее – Программа) большое внимание уделяет развитию животноводства, переработке и реализации животноводческой продукции. Одним из пунктов мероприятий, предусмотренных Программой, является развитие табунного коневодства с увеличением численности поголовья мясных табунных лошадей [1]. Интенсификация табунного коневодства предусматривает улучшение продуктивных качеств лошадей. Вопросами влияния генотипа лошадей на показатели мясной продуктивности занимаются многие ученые агропромышленной отрасли. Мясное скотоводство является актуальным направлением, так как продукты из конины пользуются спросом у населения региона [2].

В работе [3] авторы изучали влияние генотипа аборигенных хакасских лошадей путем спаривания их с орловской рысистой породой и русской тяжеловозной породой. Получены результаты, которые показали реализацию генетического потенциала и увеличение продуктивности лошадей при спаривании хакасских аборигенных конематок с жеребцами русской тяжеловозной породы.

Исследованы отличия в мясной продуктивности, морфологическому составу и пищевой ценности лошадей, полученных в результате естественной селекции в природно-климатических условиях Республики Тыва [4].

Авторами в статье [5] приведены результаты изучения экстерьерно-конституциональных характеристик, продуктивности, морфологического состава мяса лошадей забайкальской породы и полукровного молодняка, полученного от русских тяжеловозов.

Исследовано влияние породы JасаNavarra (JN) по сравнению с Burguete (BU) и рациона питания на химический состав и параметры качества мышц у жеребят. Результаты показали, что оба фактора оказали значительное влияние на качество мяса, однако именно порода оказала более сильное влияние на большинство оцениваемых параметров. Получены улучшенные показатели качества мяса, такие как мраморность, сочность и пониженная жесткость [6].

Авторами в работе [7] показано улучшение племенных и продуктивных качеств лошадей (Казахстан), которое осуществляется с целью накопления и закрепления особо ценных хозяйственно полезных признаков, присущих каждому племенному типу, и создания новой мясо-молочной породы. Биологическими особенностями являются способность жеребцов в течение всего года сохранять высокую упитанность и даже в конце племенного периода иметь более высокие стандарты.

В Архангельской области изучены показатели продуктивности и качества мяса мезенской породы лошадей для отбора в расширенное воспроизводство хозяйств и получения недорогого

мяса. Авторами получены результаты исследования химического состава и показателей безопасности конины от лошадей мезенской породы, отмечены экологичность и пищевая ценность сырья [8].

Авторами в работе [9] проведен анализ состояния генофонда лошадей вятской породы по основным ареалам ее разведения. Отмечена убыль поголовья лошадей в 2022 г., что указывает на необходимость развития коневодства с сохранением генофонда.

Отмечено влияние кормовых условий на характеристики животного и качество конины. Установлено, что сбалансированное питание оказывает благоприятное воздействие на продуктивность и пищевую ценность мясного сырья [10].

Представлены результаты изучения особенностей экстерьерных характеристик бурятских лошадей в работе [11]. Показана зависимость живой массы от показателей основных промеров тела животного, исследован потенциал для усиления селекционных признаков.

Проведены селекционно-племенные работы с казахскими лошадьми для максимальной реализации генотипа с целью совершенствования продуктивности и племенных качеств животных [12].

Были изучены вопросы влияния генотипа на продуктивность и качества мясного сырья от животных аборигенных пород скота [13].

В Забайкалье ученые-аграрии активно занимаются вопросами селекционно-племенной работы с целью развития табунного коневодства и совершенствования разводимых пород лошадей местного значения для повышения их мясной продуктивности, при этом серьезное внимание уделяется сохранению приспособительных качеств к суровым эколого-кормовым условиям [5, 11, 14–16].

В Республике Бурятия создана новая порода лошадей мясного направления продуктивности, названная ульдургинской, путем скрещивания лошадей бурятской породы с производителями русской тяжеловозной, русской рысистой и забайкальской пород [17].

Целью работы явилось изучение экстерьерно-конституциональных характеристик и мясной продуктивности молодняка лошадей в зависимости от породы.

Материалы и методы

Опытные исследования были проведены в условиях племенного завода СПК «Ульдурга» и племенного репродуктора ЗАО «Домна» Еравнинского района Республики Бурятия. Состав мясного сырья был изучен в лабораториях Центра коллективного пользования «Прогресс» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Объектом исследования служил молодняк бурятской и ульдургинской пород, находящийся в идентичных условиях кормления и содержания (круглогодное пастбищное), а также мясо, отобранное из отрубов разных категорий от животных разного возраста.

Показатели массы тела животных были определены взвешиванием на электронных весах «Элефант-2000-5» с точностью до 0,5 кг. Для оценки морфометрических особенностей экстерьера по общепринятой методике были взяты основные промеры статей тела: высота в холке, косяя длина туловища, обхват груди и пясти. На основании полученных результатов были рассчитаны индексы телосложения: растянутости, массивности, сбитости и костистости.

Химический состав мяса оценивали на основе изучения показателей – массовой доли белка, жира, влаги, золы. Массовую долю белка определяли методом, основанным на минерализации пробы по Кьельдалю, отгонки аммиака в раствор серной кислоты с последующим титрованием исследуемой пробы (ГОСТ 25011-81), массовую долю жира – методом Сокслета, основанным на многократной экстракции жира растворителем из подсушенной навески продукта с последующим удалением растворителя и на высушивании жира до постоянной массы, в качестве растворителя использовали петролейный эфир (ГОСТ 23042-86). Массовую долю влаги определяли высушиванием до постоянной массы, массовую долю золы – прокаливанием. Энергетическую ценность определяли расчетным методом, исходя из содержания белка и жира в

сырье. Содержание водорастворимых витаминов определяли методом капиллярного электрофореза («Капель-105М»).

Результаты исследований

Результаты исследования динамики живой массы молодняка ульдургинской породы представлены на рисунке 1.

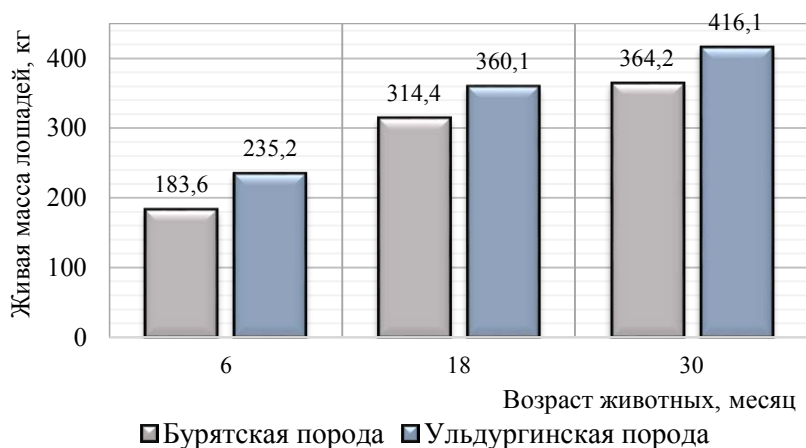


Рисунок 1 – Динамика живой массы молодняка лошадей ($p < 0,001$)

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показал, что в процессе роста и развития отмечалось достоверное превосходство по массе тела молодняка ульдургинской породы над аналогами исходной бурятской породы. Так, в возрасте 6 мес. преимущество составило 28,1 % ($p < 0,001$), в возрасте 18 мес. – 14,5 % ($p < 0,001$) и в 30-месячном возрасте – 14,3 % ($p < 0,001$).

Схожие результаты были получены в Якутии в исследованиях Н.П. Филипповой и др. (2020). Так, жеребцы мегежекской породы по живой массе превосходили аналогов исходной якутской породы на 10,7 % ($p < 0,001$), кобылы – на 9,7 % ($p < 0,001$) [17].

В таблице 1 представлены данные по влиянию породы на прирост живой массы молодняка лошадей в зависимости от возраста.

Таблица 1

Прирост живой массы молодняка лошадей

Возрастной период, мес.	Прирост			
	абсолютный, кг		среднесуточный, г	
	Порода			
	бурятская	ульдургинская	бурятская	ульдургинская
3 дня – 6 мес.	144,1	194,3	801	1079
6–18	130,8	124,9	358	342
18–30	49,8	56,0	136	153
3 дня – 30 мес.	324,7	375,2	361	417

Полученные данные позволили выявить тенденцию снижения уровня абсолютного и среднесуточного приростов живой массы молодняка по мере их роста и развития. Наибольший прирост живой массы у жеребят был выявлен в период от рождения до 6-месячного возраста, в последующие возрастные периоды было отмечено снижение данного показателя. При этом абсолютный прирост с рождения до возраста 30 мес. у особей ульдургинской породы был выше на 15,6 %, чем у жеребят бурятской породы.

Для оценки экстерьерно-конституциональных особенностей животных провели измерения основных статей тела, которые дают представление о пропорциях тела животного в процессе его роста и развития, на основании которых были рассчитаны индексы телосложения (табл. 2, 3).

Таблица 2

Промеры статей тела молодняка лошадей

Возраст	Порода	Промер, см			
		высота в холке	длина туловища	обхват груди	обхват пясти
3 дня	Бурятская	90,2±0,68	68,9±0,77	82,3±1,13	11,6±0,17
	Ульдургинская	92,8±0,57**	70,1±0,69	83,1±0,94	11,4±0,11
6 мес.	Бурятская	121,9±0,85	103,1±2,48	125,9±2,16	16,4±0,23
	Ульдургинская	122,1±0,93	115,2±1,76***	134,5±2,01**	16,3±0,19
18 мес.	Бурятская	129,8±1,60	131,3±1,34	152,7±1,38	17,2±0,14
	Ульдургинская	131,2±1,13	135,4±1,89	165,3±2,98***	18,2±0,09
30 мес.	Бурятская	136,8±3,48	139,8±3,66	166,8±6,48	18,4±0,78
	Ульдургинская	140,7±2,15	143,7±2,38	172,2±3,14	19,7±0,19

Примечания: *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001.

Представленные данные по обмеру статей тела молодняка лошадей в различные возрастные периоды указывают на то, что они наиболее интенсивно росли и развивались в период от рождения до 6-месячного возраста. Так, высота в холке за указанный период увеличилась на 31,5–35,1 %, длина туловища – на 49,6–64,3 %, обхват груди – на 53,0–61,9 % и обхват пясти – на 41,4–43,0 %.

При сравнительном анализе промеров статей тела молодняка было выявлено достоверное превосходство жеребят ульдургинской породы над бурятской по высоте в холке при рождении на 2,9 % (p < 0,01), по длине туловища и обхвату груди в возрасте 6 мес. – на 11,7 % (p < 0,001) и 6,8 % (p < 0,01) соответственно, а также по обхвату груди в возрасте 18 мес. – на 8,3 % (p < 0,001).

Вычисленные индексы телосложения, характеризующие соотношение анатомически связанных между собой промеров, дали возможность судить о степени развития организма, пропорциях его тела, общем конституциональном типе животного и степени выраженности особенностей желательного направления продуктивности [18].

По данным [19], у взрослых лошадей верховых пород индекс растянутости варьирует в пределах 97,42–101,81, индекс сбитости – 113,01–116,66, индекс массивности – 111,42–117,49 % и индекс костистости – 12,32–13,00 %, русской тяжеловозной породы – 107,7; 120,1; 129,2 и 14,3 % [20].

Таблица 3

Индексы телосложения жеребчиков

Возраст	Порода	Индекс, %			
		растянутости	сбитости	массивности	костистости
3 дня	Бурятская	76,4	119,4	91,2	12,9
	Ульдургинская	75,5	118,5	89,5	12,2
6 мес.	Бурятская	84,6	122,1	103,3	13,5
	Ульдургинская	94,3	116,7	110,1	13,3
18 мес.	Бурятская	101,2	116,3	117,6	13,3
	Ульдургинская	103,2	122,1	125,9	13,8
30 мес.	Бурятская	102,2	119,3	121,9	13,5
	Ульдургинская	102,1	119,8	122,3	14,0

У подопытного молодняка индекс растянутости, характеризующий развитие туловища в длину, с возрастом увеличился на 25,8–26,6, индекс массивности, служащий показателем силы

и работоспособности – на 30,7–32,8, индекс костистости, свидетельствующий о крепости костяка, – на 0,6–1,8 процентных пункта. При этом индекс сбитости или компактности, указывающий на развитие массы тела, находился практически на одном уровне.

Из полученных данных, представленных в таблице 3, следует, что по индексам телосложения молодняк бурятской и ульдургинской пород характеризовались как животные с выраженными мясными формами и по данным показателям находились ближе к тяжеловозным породам.

Были проведены замеры для расчета выхода туш молодняка (табл. 4).

Таблица 4

Выход туш животных разных пород в зависимости от возраста

Показатель	Возраст животных		
	6 мес.	18 мес.	30 мес.
Бурятская порода			
Предубойная живая масса, кг	199,1±3,60	318,7±2,30	344,5±3,53
Масса парной туши, кг	103,8±1,97	164,8±2,35	174,2±3,03
Выход туш молодняка, %	52,1	51,6	50,5
Ульдургинская порода			
Предубойная живая масса, кг	233,4±3,87**	361,0±2,98***	415,5±4,45***
Масса парной туши, кг	124,4±2,14***	192,8±1,96***	219,5±3,00***
Выход туш молодняка, %	53,2	53,5	52,7

Примечания: *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001.

Результаты контрольного убоя свидетельствуют о том, что достоверно высокое значение массы туши имел молодняк ульдургинской породы. Так, средняя масса туш при убое молодняка ульдургинской породы в возрасте 6 мес. была больше по сравнению с аналогами бурятской породы на 19,8 %, в возрасте 18 мес. – на 17,0 %, в возрасте 30 мес. – на 26,0 % (p < 0,001).

Расчет выхода туш молодняка лошадей разных пород показал достоверное повышение исследуемого показателя молодняка созданной породы над аналогами бурятской породы в возрасте 18 мес. – на 3,4 %, в возрасте 30 мес. – на 4,3 % (p < 0,05).

Была проанализирована массовая доля отрубов по сортам от туш молодняка разного возраста в зависимости от породы (табл. 5).

Таблица 5

Сортовой состав отрубов туш молодняка лошадей

Отруба	Возраст животных					
	6 мес.		18 мес.		30 мес.	
	Единица измерения					
	кг	%	кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7
Бурятская порода						
Масса охлажденной туши	100,8±2,15	100	159,8±2,28	100	169,0±2,94	100
I сорт						
Спинной	10,7±0,08	10,6±0,16	16,8±0,16	10,5±0,18	17,9±0,32	10,6±0,07
Грудной	6,5±0,18	6,4±0,06	13,3±0,28	8,3±0,07	15,9±0,18	9,4±0,08
Поясничный	4,3±0,08	4,3±0,05	6,1±0,12	3,8±0,08	7,1±0,21	4,2±0,08
Тазобедренный	29,8±0,65	29,6±1,09	52,2±0,88	32,7±1,03	51,9±0,92	30,7±1,10
Пашина	2,3±0,12	2,3±0,06	5,1±0,008	3,2±0,04	5,2±0,07	3,1±0,05
II сорт						
Плече-лопаточный	24,8±0,45	24,6±0,12	33,5±0,47	21,0±0,48	35,9±0,82	21,2±0,19
Шейный	8,8±0,18	8,7±0,07	15,5±0,30	9,7±0,06	18,1±0,20	10,7±0,11

1	2	3	4	5	6	7
III сорт						
Передняя голяшка	5,8±0,21	5,8±0,12	8,2±0,17	5,1±0,15	8,2±0,10	4,9±0,08
Задняя голяшка	7,8±0,12	7,7±0,09	9,1±0,16	5,7±0,08	8,8±0,14	5,2±0,07
Ульдургинская порода						
Масса охлажденной туши	120,6±2,11	100	187,0±1,92** *	100	213,0±2,98** *	100
I сорт						
Спинной	13,2±0,43***	10,9±0,15	20,9±0,14***	11,2±0,19***	23,1±0,44***	10,8±0,08** *
Грудной	8,8±0,22***	7,3±0,08***	16,7±0,08***	8,9±0,09***	19,5±0,35***	9,2±0,06***
Поясничный	5,2±0,15***	4,3±0,03	8,5±0,11***	4,5±0,02***	9,2±0,37***	4,3±0,03
Тазобедренный	34,1±0,34***	28,3±0,18***	57,4±0,52***	30,7±0,19***	65,5±0,96***	30,8±0,21
Пашина	3,9±0,21***	3,2±0,08***	6,1±0,11***	3,3±0,07	6,6±0,08***	3,1±0,09
II сорт						
Плече-лопаточный	29,2±0,31***	24,2±1,02	37,3±0,37	19,9±0,98	45,2±1,00***	21,2±0,74
Шейный	10,1±0,12***	8,4±0,08	18,5±0,12***	9,9±0,06	22,5±0,38***	10,6±0,10
III сорт						
Передняя голяшка	6,1±0,15	5,1±0,04***	9,8±0,19***	5,2±0,08	10,2±0,23***	4,8±0,05
Задняя голяшка	10,0±0,33***	8,3±0,07***	11,8±0,32***	6,3±0,09***	11,2±0,19***	5,3±0,08

Примечания: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Результаты оценки сортового разуба свидетельствуют о том, что в тушах молодняка новой породы было достоверно выше содержание отрубов всех сортов во все изученные возрастные периоды ($p < 0,001$), при этом они отличались большим содержанием мякотной ткани на 21,4 % в возрасте 6 мес., на 17,3 % – в возрасте 18 мес. и на 28,4 % – в возрасте 2,5 года (мышечная и жировая ткани, $p < 0,001$).

Анализ процентных значений отрубов свидетельствует о том, что соотношение массовой доли отрубов по сортам (I сорт : II сорт : III сорт) в зависимости от возраста составило в 6 мес. – 53,2–54,0 % : 32,6–33,3 % : 13,4–13,5 %, в 18 мес. 58,5–58,6 % : 30,7–29,8 % : 10,8–11,5 % и в 30 мес. – 58,0–58,2 % : 31,9–31,8 % : 10,1–13,4 %. Можно отметить, что в период развития животных до 6 мес. доля отрубов I сорта было ниже по сравнению с долей отрубов II сорта, возможно, в период интенсивного роста более всего развиваются мышцы, содержащие соединительную ткань, которая и определяет сортность мяса. К 18 мес. и затем далее к 30 мес. наблюдалось увеличение доли первосортных отрубов, характеризующихся массивной мышечной массой.

Порода животного оказала небольшое влияние на соотношение отрубов по сортам: в возрасте 6 мес. наблюдалось увеличение массовой доли отрубов, относящихся к I сорту, за счет уменьшения III сорта. В возрасте 18 мес. сохранялась разница по сортам в сторону увеличения доли отрубов I сорта. Далее с развитием животного в возрасте 30 мес. соотношение по сортам массовых долей отрубов от туш ульдургинской породы животных и бурятской породы было примерно одинаковое.

Далее были отобраны образцы мяса туш молодняка выведенной породы возраста 18 и 30 мес. для исследования пищевой ценности мышечной ткани (табл. 6).

Таблица 6

Влияние породы на химический состав мяса жеребчиков в зависимости от возраста

Возраст животных	Показатели	
	массовая доля белка, %	массовая доля жира, %
Бурятская порода		
6 мес.	20,90±0,87	4,90±0,07
18 мес.	20,50±0,92	6,40±0,07
Ульдургинская порода		
6 мес.	22,35±0,65	3,80±0,07
18 мес.	21,83±0,78	5,21±0,27

Данные таблицы 6 показали влияние возраста животного на химический состав мяса: с возрастом животного увеличивается доля жира. Отмечено влияние породы на химический состав мяса: массовая доля белка в мясе от туш молодняка бурятской породы составила 20,5–20,9 % в зависимости от возраста, от туш ульдургинской породы доля белка была выше на 6,4–9,3 % и составила 21,83–22,85 %. Отмечена более низкая доля липидов в мясе от молодняка ульдургинской породы в возрасте 6 мес. на 22 %, в возрасте 18 мес. – на 18,6 %; возможно, данный факт связан с более интенсивным наращиванием у них мышечной массы по сравнению с бурятской.

Далее был изучен витаминный состав сырья, на рисунке 2 представлена электрофореграмма мяса жеребчиков ульдургинской породы, в таблице 7 – витаминный состав мяса молодняка разных пород в возрасте 18 мес.

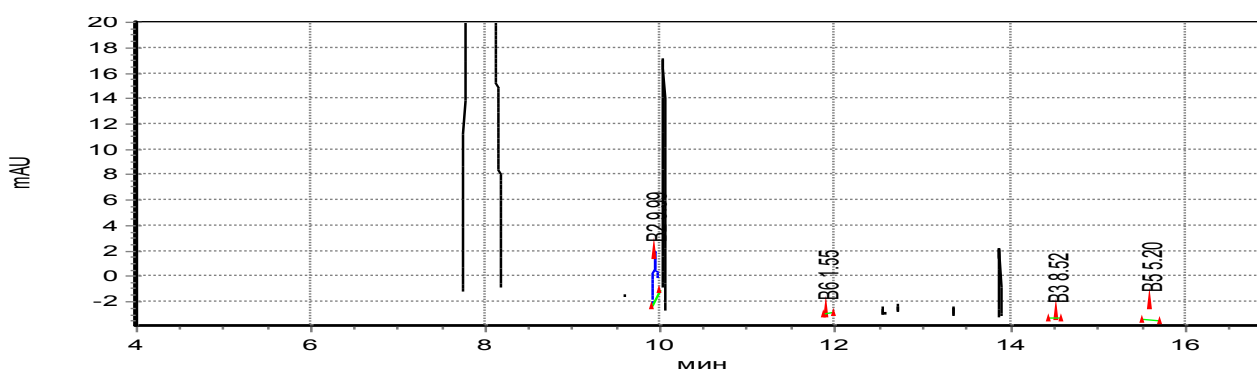


Рисунок 2 – Электрофореграмма водорастворимых витаминов в мясе молодняка ульдургинской породы

Таблица 7

Влияние породы на состав водорастворимых витаминов в мясе жеребчиков

Показатель	мг/кг
Бурятская порода	
Тиамин В ₁	2,96±0,14
Рибофлавин В ₂	1,44±0,09
Никотиновая кислота В ₃	4,61±0,31
Пантотеновой кислоты кальциевая соль В ₅	3,86±0,42
Пиродоксина гидрохлорид В ₆	4,19±0,38
Ульдургинская порода	
Тиамин В ₁	3,54±0,19
Рибофлавин В ₂	1,48±0,09
Никотиновая кислота В ₃	4,52±0,31
Пантотеновой кислоты кальциевая соль В ₅	4,74±0,32
Пиродоксина гидрохлорид В ₆	4,17±0,38

Анализ данных позволил отметить, что в мясе молодняка ульдургинской породы содержание некоторых витаминов выше: тиамин – на 19,6 %, кальциевой соли пантотеновой кислоты – на 22,8 %. Витамин В₁, или тиамин, необходим для полноценного углеводного и липидного метаболизма в организме человека, входит в состав многих ферментов и коферментов, поддерживающих нормальную работу нервной, сердечно-сосудистой и пищеварительной систем. Витамин В₅ участвует в производстве энергии на клеточном уровне, активизации процессов высвобождения жиров из депо и их утилизации при повышенной физической или умственной нагрузке, кроме того, обладает противовоспалительным действием, так как участвует в обменных процессах коры надпочечников, синтезирующей глюкокортикостероиды.

По уровню остальных водорастворимых витаминов, которые играют важную роль в организме человека, – участвуют в белковом, липидном, углеводном обмене веществ, кроветворении, синтезе гормонов и ферментов (рибофлавин, никотиновая кислота и пиридоксина гидрохлорид), мясо молодняка ульдургинской и бурятской пород практически не различается, данные сопоставимы ($p \geq 0,05$).

Заключение

Представленные в статье результаты исследований показали, что животные новой породы имеют высокие экстерьерно-конституциональные характеристики: достаточной крепости костяк (индекс костистости) и выраженность мясных форм (индексы массивности и сбитости), что соответствует мясному направлению продуктивности животных. Отмечено достоверное увеличение промеров обхвата груди (на 11,7 %), длины туловища (на 6,8 %) у животных в возрасте 6 мес. – на 3,1 %, в возрасте 18 мес. – на 8,3 %, у животных ульдургинской породы по сравнению с исходной бурятской.

Установлено достоверное повышение массы тела молодняка лошадей ульдургинской породы по сравнению с контролем: в 6 мес. – на 51,6 кг, в 18 мес. – на 45,7 кг, в 30 мес. – на 51,9 кг. Масса животных относительно начального веса (3 дня) увеличивалась быстрее у особей созданной породы. Так, абсолютный прирост с рождения до 30-месячного возраста у них составил 375,2 кг, тогда как у аналогов бурятской породы – 324,7.

Отмечено более высокое значение массы туши ульдургинской породы в возрасте 6 мес. – на 19,8 %, в возрасте 18 мес. – на 17,0 %, в возрасте 30 мес. – на 26,0 % по сравнению с контролем. Расчет выхода туш жеребчиков показал достоверное повышение исследуемого показателя от опытной партии животных в возрасте 18 мес. – на 3,4 %, в возрасте 30 мес. – на 4,3 % ($p < 0,05$). Сравнительный анализ морфологического состава туш молодняка разных пород показал, что к 30 мес. проявляется достоверная разница в массе мякоти на 1,9 % ($p < 0,01$), в массе костей и сухожилий – на 7 % ($p < 0,05$) у животных ульдургинской породы по сравнению со сверстниками бурятской породы.

Выявлено влияние породы на индекс мясности: в туше животных новой породы значение индекса мясности было выше на 9,5 % по сравнению с контролем. Полученные данные подтверждают более высокую мясную продуктивность особей ульдургинской породы.

Была проанализирована массовая доля отрубов по сортам от туш молодняка разного возраста в зависимости от происхождения. Порода животного оказала небольшое влияние на соотношение отрубов по сортам: в возрасте 6 мес. наблюдалось увеличение массовой доли отрубов, относящихся к первому сорту, за счет уменьшения III сорта. В возрасте 18 мес. сохранялась разница по сортам в сторону увеличения доли отрубов I сорта. Далее с развитием животного в возрасте 30 мес. соотношение по сортам массовых долей отрубов от туш подопытного молодняка лошадей сравниваемых пород было примерно одинаковое.

Исследование химического состава мышечной ткани туш показало, что с возрастом животного уменьшается массовая доля влаги и увеличивается доля белка или жира. Массовая доля белка в мясе от туш молодняка бурятской породы составила 20,5–20,9 % в зависимости от возраста, при этом в мясе молодняка ульдургинской породы доля белка была выше на 6,4–9,3 % и составила 21,83–22,85 %. Отмечено, что в мясе молодняка ульдургинской породы содержание

некоторых витаминов выше: тиамина – на 19,6 %, кальциевой соли пантотеновой кислоты – на 22,8 %.

Библиография

1. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: Постановление Правительства РФ от 14.07.2012 № 717 (ред. от 13.06.2023, с изм. и доп., вступ. в силу с 04.07.2023). – URL: <http://government.ru/docs/all/83508/> (дата обращения 09.01.2024). – Текст: электронный.
2. *Баженова Б.А., Спиридонова М.П., Бурханова А.Г. и др.* Анализ рынка мяса и мясных продуктов Республики Бурятия // Вестник ВСГУТУ. – 2022. – № 4 (87). – С. 5–14.
3. *Лефлер Т.Ф., Волков А.Д., Коломеец Ю.Ю.* Влияние генотипа на мясную продуктивность молодняка лошадей // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 12. – С. 38–44.
4. *Ооржак Р.* Мясная продуктивность молодняка лошадей тувинской породы // Вестник Тувинского государственного университета. Естественные и сельскохозяйственные науки. – 2015. – № 2 (25). – С. 157–162.
5. *Хамируев Т.Н., Дашинимаев С.М., Базарон Б.З.* Рост, развитие и взаимосвязь количественных признаков у молодняка лошадей разного генотипа // Пермский аграрный вестник. – 2023. – № 2 (42). – С. 152–159. – DOI: 10.47737/2307-2873_2023_42_152.
6. *Cittadini A., Sarriés M.V., Domínguez R. et al.* Effect of breed and finishing diet on chemical composition and quality parameters of meat from Burguete and Jaca Navarra foals // *Animals*. – 2022. – Vol. 12. – N 5. – P. 568. – URL: <https://doi.org/10.3390/ani12050568>
7. *Iskhan K.Zh., Kalashnikov V.V., Akimbekov A.R. et al.* Zootechnic characteristics of modern populations of mugalzhhar horse breed // *Bulletin the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*. – 2019. – N 6 (382). – P. 75–82. – DOI.org/10.32014/2019.2518-1467.147.
8. *Вдовина Н.В., Юрьева И. Б.* Мясная продуктивность молодняка мезенской породы лошадей в возрасте отъема при конюшенно-пастбищном содержании // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 92–101. – DOI: 10.26897/0021-342X-2021-2-92-101.
9. *Басс С.П., Белоусова Н.Ф., Азимова Г.В. и др.* Состояние вятской породы лошадей в основных ареалах ее разведения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2023. – Т. 18, № 1. – С. 80–91. – DOI: 10.37882/2223-2966.2022.11.04.
10. *Сидоров А.А., Черноградская Н.М., Григорьев М.Ф. и др.* Мясная продуктивность лошадей якутской породы // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 101. – С. 308–313. – DOI: 10.21515/1999-1703-101-308-313.
11. *Хамируев Т.Н., Базарон Б.З., Дашинимаев С.М. и др.* Взаимосвязь селекционных признаков табунных лошадей Забайкалья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53. – № 3. – С. 86–96. – DOI: 10.26898/0370-8799-2023-3-10.
12. *Исхан К.Ж., Махатов Б.М., Есенкулова Ж.Ж. и др.* Мясная продуктивность казахских лошадей бескарагайского заводского типа // Вестник АГАТУ. – 2023. – № 4 (12). – С. 60–65.
13. *Лескова С.Ю., Жаргалова А.Ц., Данилов М.Б. и др.* Перспективы рациональной переработки аборигенного крупного рогатого скота // Вестник ВСГУТУ. – 2022. – № 3 (86). – С. 14–20. – DOI: 10.53980/24131997_2022_3_14.
14. *Калашиников И.А., Назарова Е.Н.* Технологические аспекты интенсификации табунного коневодства // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2022. – № 1 (66). – С. 44–51. – DOI: 10.34655/bgsha.2022.66.1.006.
15. *Хамируев Т.Н., Дашинимаев С.М., Базарон Б.З. и др.* Продуктивные и воспроизводительные качества конематок при селекционном улучшении бурятской породы // Коневодство и конный спорт. – 2023. – № 1. – С. 23–25.
16. *Базарон Б.З., Калашиников И.А.* Рост, развитие и мясная продуктивность забайкальских лошадей и их помесей с русской тяжеловозной породой // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. Филиппова. – 2007. – Вып. IV (9). – С. 75–84.
17. Патент на селекционное достижение № 12891. Российская Федерация. Ульдургинская порода лошадей // Оригинаторы НИИВ Восточной Сибири – филиал СФНЦА РАН, ФГБНУ «Всероссийский

научно-исследовательский институт коневодства», СПК «Ульдурга» Еравнинского района Республики Бурятия.

Bibliography

1. On the State program of agriculture development and market regulation for agricultural products, raw materials and food: Decree of the Government of the Russian Federation of July 14, 2012 N 717 (as amended on June 13, 2023, with amendments and additions, in force on July 4, 2023). – URL: <http://government.ru/docs/all/83508/> (access date 01.09.2024).
2. *Bazhenova B.A., Spiridonova M.P., Burkhanova A.G. et al.* Analysis of the meat and meat products market in the Republic of Buryatia // *ESSUTM Bulletin*. – 2022. – N 4 (87). – P. 5–14.
3. *Lefler T.F., Volkov A.D., Kolomeets Yu.Yu.* Influence of genotype on meat productivity of young horses // *The Bulletin of KrasGAU*. – 2016. – N 12. – P. 38–44.
4. *Oorzhak R.* Meat productivity of young horses of Tuva breed // *Bulletin of Tuva state University. Natural and agricultural Sciences*. – 2015. – N 2 (25). – P. 157–162.
5. *Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M., Bazaron B.Z.* Growth, development and interrelation of quantitative traits in young horses of different genotypes // *Perm Agrarian Journal*. – 2023. – N 2 (42). – P. 152–159. – DOI: 10.47737/2307-2873_2023_42_152.
6. *Cittadini A., Sarriés M.V., Domínguez R. et al.* Effect of breed and finishing diet on chemical composition and quality parameters of meat from Burguete and Jaca Navarra foals // *Animals*. – 2022. – Vol. 12, N 5. – P. 568. – URL: <https://doi.org/10.3390/ani12050568>
7. *Iskhan K. Zh., Kalashnikov V.V., Akimbekov A.R. et al.* Zootechnic characteristics of modern populations of mugalzar horse breed // *Bulletin of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*. – 2019. – N 6 (382). – P. 75–82. – DOI.org/10.32014/2019.2518-1467.147.
8. *Vdovina N.V., Yuryeva I.B.* Meat productivity of young Mezen breed horses at weaning age with stable-pasture keeping // *Izvestya of Timiryazev Agricultural Academy*. – 2021. – N 2. – P. 92–101. – DOI: 10.26897/0021-342X-2021-2-92-101.
9. *Bass S.P., Belousova N.F., Azimova G.V. et al.* Condition of Vyatka horse breed in its main breeding areas // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. – 2023. – Vol. 18, N 1. – P. 80–91. – DOI: 10.37882/2223-2966.2022.11.04.
10. *Sidorov A.A., Chernogradskaya N.M., Grigoryev M.F. et al.* Meat productivity of horses of Yakut breed // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. – 2022. – N 101. – P. 308–313. – DOI: 10.21515/1999-1703-101-308-313.
11. *Khamiruev T.N., Bazaron B.Z., Dashinimaev S.M. et al.* Interrelation of breeding traits of herd horses of Transbaikal region // *Siberian Herald of Agricultural Science*. – 2023. – Vol. 53, N 3. – P. 86–96. – DOI: 10.26898/0370-8799-2023-3-10.
12. *Iskhan K.Zh., Makhatov B.M., Yesenkulova Zh.Zh. et al.* Meat productivity of Kazakh horses of Beskaragay breeder type // *Bulletin of ASAU*. – 2023. – N 4 (12). – P. 60–65.
13. *Leskova S.Yu., Zhargalova A.Ts., Danilov M.B. et al.* Prospects for rational processing of aboriginal cattle // *ESSUTM Bulletin*. – 2022. – N 3 (86). – P. 14–20. – DOI: 10.53980/24131997_2022_3_14.
14. *Kalashnikov I.A., Nazarova E.N.* Technological aspects of intensification of herd horse breeding // *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. – 2022. – N 1 (66). – P. 44–51. – DOI: 10.34655/bgsha.2022.66.1.006.
15. *Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M., Bazaron B.Z. et al.* Productive and reproductive qualities of mares during selective improvement of Buryat breed // *Horse breeding and equestrian sport*. – 2023. – N 1. – P. 23–25.
16. *Bazaron B.Z., Kalashnikov I.A.* Growth, development and meat productivity of Transbaikal horses and their crossbreeds with Russian draft horse // *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. – 2007. – Vol. IV (9). – P. 75–84.
17. Patent for selection achievement N 12891. Russian Federation. Uldurginskaya breed of horses // Originators of the Scientific Research Institute of East Siberia – branch of the SFSC RAS, Federal State Budgetary Institution «Russian Scientific Research Institute of Horse Breeding», Agricultural Production Cooperative «Uldurga» of Eravninskiy district of Republic of Buryatia.

DOI 10.53980/24131997_2024_2_30

Л.Н. Сярова¹, канд. с.-х. наук, e-mail: lyubov.syarova@mail.ru
Н.Г. Иванова², канд. техн. наук, доц., e-mail: n.ivanova@mgutm.ru
Ю.Ю. Забалуева², канд. техн. наук, доц., e-mail: jjzabalueva@gmail.com
Х.Р. Ниязбаев², магистр, e-mail: habaniaz@yandex.ru

¹ Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко,
г. Тирасполь, Молдова, Приднестровье

² Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского
(Первый казачий университет), г. Москва

УДК 664.933

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КУКУРУЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЯСО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОНСЕРВОВ

Статья посвящена изучению возможности использования замороженных зерен кукурузы в технологии мясо-растительных консервов. Для равномерного распределения рецептурных ингредиентов в мясной массе предложено вносить в бульон пищевую добавку «Каррагинан Бекаплюс С 106». Внесение полисахаридной добавки будет способствовать повышению уровня пищевых волокон в продукте. Установлено, что использование филе куриного и зерен кукурузы с железной заливкой, стабилизированной каррагинаном в количестве 0,2–0,3 % от массы продукта, при производстве мясо-растительных консервов способствует получению низкокалорийного изделия с ярко выраженными органолептическими свойствами и высоким выходом.

Ключевые слова: мясо-растительные консервы, кукуруза, каррагинан, консервация.

L.N. Syarova¹, Cand. Sc Agriculture, Associate Prof.
N.G. Ivanova², Cand. Sc. Engineering, Associate Prof.
Yu.Yu. Zabalueva², Cand. Sc. Engineering Associate Prof.
Kh.R. Niazbaev², master's student

¹ Transnistrian State University named after. T.G. Shevchenko, Tiraspol, Moldova, Transnistria

² Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky
(First Cossack University), Moscow

POSSIBILITY OF USING CORN IN PRODUCTION OF CANNED MEAT AND VEGETABLES

The article studies the possibility of using frozen corn kernels in technology of canned meat and vegetables. It suggests adding food additive «Carrageenan Bekaplus S 106» to broth to ensure uniform distribution of recipe ingredients in meat mass. Polysaccharide additive also helps increase the level of dietary fiber in the product. The research has found that use of chicken fillet and corn kernels with jelly filling, stabilized with carrageenan in an amount of 0.2–0.3 % by weight of the product, contributes to production of a low-calorie product with distinct organoleptic properties and high product yield.

Key words: canned meat and vegetables, corn, carrageenan, preservation.

Введение

Современный ускоренный ритм жизни, высокая занятость и интенсивность работы вызывают необходимость разработки новых видов продукции быстрого приготовления. Мясо-растительные консервы способны заменить полноценный продукт, приготовленный в домашних условиях. Консервированная мясная продукция, как правило, имеет высокую пищевую ценность, характеризуется длительными сроками годности (от двух лет) и удобством транспортировки. Необходимо отметить, что консервы мясо-растительные имеют широкий температурный

диапазон хранения (от 0 до 20 °С) при относительной влажности воздуха не более 75 %, и при этих условиях хранения гарантируются сохранение всех питательных свойств продукта и его микробиологическая безопасность.

В последнее время при разработке нового ассортимента ряда пищевых продуктов консервированная продукция не является исключением. В рецептуры мясных продуктов питания вводят нетрадиционное растительное сырье, богатое не только пищевыми волокнами, но и белками [1–3]. Однако при создании новых продуктов основным критерием является отсутствие негативного влияния вводимых компонентов на их пищевую ценность и органолептические характеристики. Мясо и изделия из него являются одним из важнейших источников полноценного животного белка, но последние исследования показывают, что продукты, содержащие в своем составе белок только животного или растительного происхождения, обладают меньшей биологической ценностью, чем при их совместном использовании.

Традиционно мясо-растительные консервы вырабатывают на основе мясных ресурсов (говядины, свинины, баранины) с добавлением растительных ингредиентов. В качестве растительного ресурса применяют различные овощи, крупы и бобовые (морковь, лук, рисовая, гречневая, ячневая, пшенная и перловая крупы, фасоль, горох, чечевица). Совместное использование перечисленных компонентов приводит к получению консервов высокой питательной ценности – улучшается витаминный и минеральный состав, увеличивается доля пищевых волокон растительного происхождения и полиненасыщенных жирных кислот. В качестве нетрадиционного растительного ингредиента предложено использование замороженной кукурузы при выработке мясо-растительных консервов на основе мяса птицы (филе куриного).

Как отдельный пищевой продукт «Кукуруза сахарная» в консервированном виде вырабатывается давно. Примечательно, что она практически не теряет своих свойств при термообработке в процессе консервирования. Пищевая ценность консервированной кукурузы включает в себя белки – 2,2 %, жиры – 1,2 %, углеводы в среднем 15 %, кроме того, в ней содержатся витамины группы В, Е, К, РР, С, бета-каротин и такие минералы, как золото, фосфор, фтор, железо, калий, цинк и др. [4]. Поэтому включение кукурузы в производство мясо-растительных консервов в качестве растительного составляющего, в дальнейшем подвергнутого процессу стерилизации, не приведет к потере жизненно важных элементов.

Использование замороженной кукурузы обосновано сезонностью сырья. Ранее проведенными исследованиями было показано, что шоковая заморозка зерен кукурузы полностью сохраняет нативные свойства сырья. Кроме того, предварительная подготовка кукурузы с удалением механических примесей, сортировкой, мойкой, частичной бланшировкой, сепарированием направлена на высокий санитарно-гигиенический уровень сырья. Использование такого сырья дает возможность продления сроков переработки кукурузы и снижения нагрузки на консервные заводы в сезон ее массовой уборки. После шоковой заморозки сырье по технологическим свойствам близко к бланшированному, однако в отличие от последнего способно выдерживать механическое воздействие при перемешивании с мясным сырьем [5].

Таким образом, сочетание куриного филе в качестве мясной основы с замороженной кукурузой при выработке мясорастительных консервов сформирует диетический продукт с хорошим пищевыми достоинствами, при этом использование замороженных зерен кукурузы исключает возможный брак в виде частичной деформации зерен, что важно для производителя.

Цель исследования – разработка рецептуры мясорастительных консервов «Филе куриное с сахарной кукурузой».

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в учебно-производственной лаборатории аграрно-технологического факультета Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко (г. Тирасполь, Приднестровье) и в лабораториях кафедры биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ).

В качестве объектов исследования были консервы мясо-растительные «Филе куриное с сахарной кукурузой», произведенные по следующей технологической схеме: нарезание куриного филе, инспекция замороженных зерен кукурузы, инспекция, мойка, чистка и нарезка моркови, подготовка вспомогательных материалов, механическое перемешивание компонентов, фасовка в жестяные банки № 8, контроль веса, добавление бульона, укупорка, стерилизация, охлаждение, хранение. Режимы стерилизации (20–40–20/120 °С, противодавление 2,5 Ат). Рецептура контрольного образца «Филе куриное с сахарной кукурузой» представлена в таблице 1.

Таблица 1

Рецептура образцов консервов «Филе куриное с сахарной кукурузой»

Наименование продукта	Количество, %
Филе куриное	31,0
Зерна кукурузы замороженные	34,0
Морковь свежая	2,5
Соль пищевая	1,1
Бульон	31,4
Итого	100,0

Рецептуры опытных образцов отличались от представленной в таблице 1 введением пищевой добавки «Каррагинан Бекаплюс С 106» фирмы «Джулини» в количестве от 0,1 до 0,5 % от массы содержимого банки (образец № 1 с содержанием каррагинана 0,1 %, образец № 2 с содержанием каррагинана 0,2 %, образец № 3 с содержанием каррагинана 0,3 %, образец № 4 с содержанием каррагинана 0,4 %, образец № 5 с содержанием каррагинана 0,5 %).

При выполнении исследований определяли следующие показатели: состояние желейной заливки; температуру застывания и плавления желейной заливки в соответствии с ГОСТ 8756.17-2017 «Консервы мясные и мясосодержащие. Метод определения температуры плавления желе»; потери при термической обработке – по разности массы сырого мяса и после термической обработки; органолептические показатели готового продукта в соответствии с ГОСТ 33741-2015 «Консервы мясные и мясосодержащие. Методы определения органолептических показателей, массы нетто и массовой доли составных частей»; содержание белка – методом Кьельдаля, жира – методом Сокслета, углеводов – методом Бертрана; пищевых волокон – ферментативно-гравиметрическим методом.

Результаты исследования и их обсуждение

Приемлемым в технологии консервированной мясной продукции является применение гидроколлоидов, относящихся к группе пищевых волокон, о чем свидетельствуют многочисленные публикации об их стабилизирующих свойствах в мясных системах и о благотворном влиянии на обмен веществ в организме человека [6, 7].

Использование каррагинана в консервировании является новым направлением, требующим изучения, так как любая возможность расширения ассортимента консервного цеха мясокомбината повышает конкурентоспособность пищевого предприятия. Присутствие каррагинана в продукте не только способствует формированию устойчивого геля за счет желирования водной среды вне сырья, но и препятствует потере сока внутри сырья, в связи с чем увеличивается наполняемость банки мясом. Благодаря свойствам гидроколлоидов стало возможным создание не только низкокалорийных продуктов, сохраняющих органолептические характеристики традиционных аналогов, но и продуктов с повышенными выходами и улучшенной структурой [5].

Были выработаны консервы «Филе куриное с сахарной кукурузой», отличительной особенностью которых было использование не только замороженных зерен кукурузы, но и пищевой добавки «Каррагинан Бекаплюс С 106».

Результаты проведенной органолептической оценки представлены в таблице 2. Дегустация была проведена после охлаждения готовой продукции при температуре окружающей среды 23 °С.

Таблица 2

Органолептические показатели образцов консервов «Филе куриное с сахарной кукурузой»

Наименование показателя	Наименование образца					
	контроль	образец № 1	образец № 2	образец № 3	образец № 4	образец № 5
состояние желе / балльная оценка	без желе	вязкое, не стабильное, прозрачное	нежное, мягкое, не плотное, прозрачное	нежное, мягкое, плотное, слегка мутноватое	плотное, легкое крошливое, мутноватое	жесткое, крошливое, мутное
	2,8	3,5	5,0	4,8	4,0	3,0
состояние зерен / балльная оценка	не разваренные нежные	не разваренные нежные	не разваренные нежные	не разваренные нежные	не разваренные слегка суховатые	не разваренные суховатые
	5,0	5,0	5,0	4,9	4,2	3,8
вкус / балльная оценка	без постороннего привкуса	без постороннего привкуса	без постороннего привкуса, приятный, облагороженный	без постороннего привкуса, приятный	без постороннего привкуса, не выраженный	без постороннего привкуса, слегка искаженный
	4,0	4,2	4,9	4,9	4,0	3,5
сочность мяса / балльная оценка	суховатое, волокнистое	сочное, слегка суховатое	нежное, сочное	сочное	слегка жестковатое	жестковатое
	4,0	4,1	4,9	5,0	3,9	3,2
запах / балльная оценка	без постороннего запаха, пустой	без постороннего запаха, пустой	без постороннего запаха, нежный, ароматный	без постороннего запаха, насыщенный, ароматный	без постороннего запаха, ароматный	без постороннего запаха, не выраженный
	4,5	4,5	5,0	4,8	4,2	4,0
средний балл	4,06	4,26	4,96	4,88	4,06	3,50

Низкая оценка опытных образцов № 4 и № 5 была связана с излишней плотностью и крошливостью желе. Скорее всего, данное количество каррагинана не только стабилизировало гель, но и уплотнило структуру тканей мяса и зерен за счет формирования геля с белками и влагой сырья. Также было установлено, что слишком тугое желе (образец № 5) не успевало растаять во рту и раскрыть особенности вкуса и запаха. Таким образом, концентрация каррагинана 0,4–0,5 % являлась слишком высокой для данного вида продукта.

Средний балл всех показателей указывал на наиболее приемлемое применение каррагинана в концентрации 0,2–0,3 % к массе продукта. При таких условиях получался продукт с выраженным вкусом, устойчивым желе и внешним видом, позволяющим употреблять его без дополнительного облагораживания.

Внешний вид составных частей консервов представлен на фото (рис. 1).

В ходе исследований были определены характеристики желейной заливки разработанных консервов. На рисунке 2 представлена температура плавления и застывания образовавшегося желе исследуемых опытных образцов консервов «Филе куриное с сахарной кукурузой».

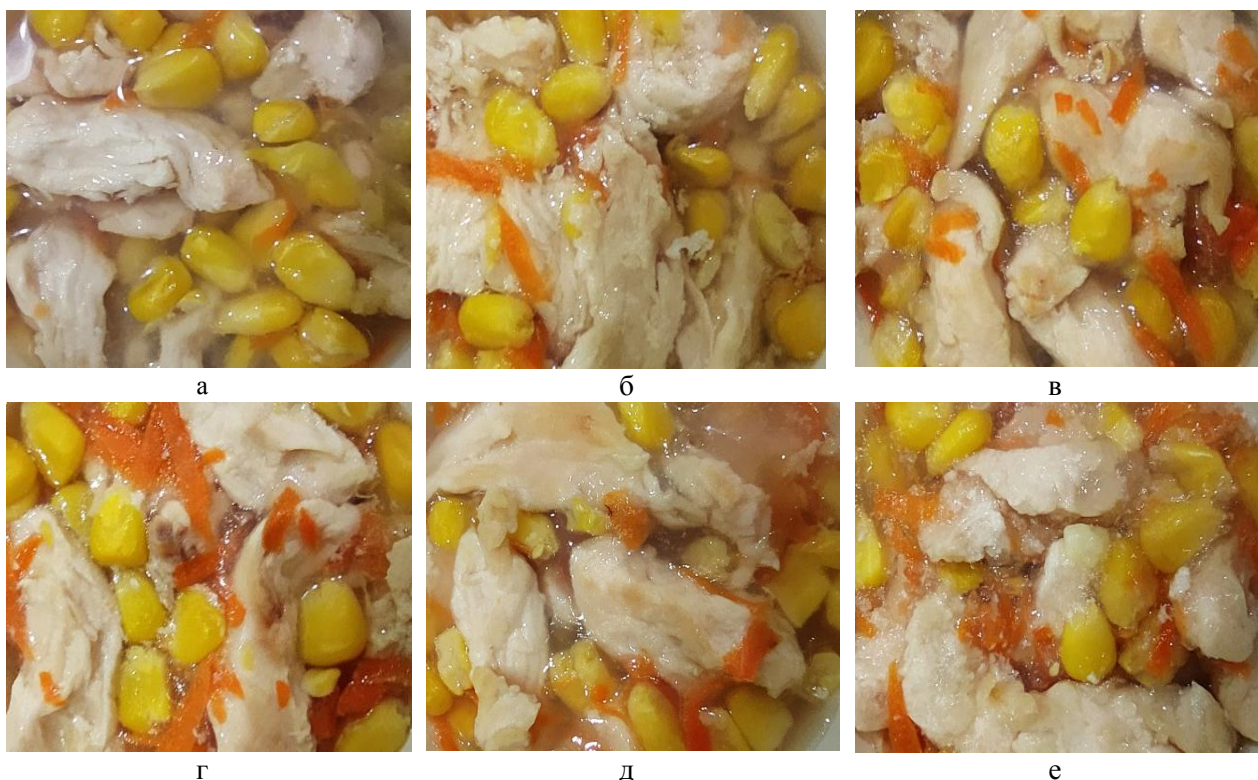


Рисунок 1 – Внешний вид составных частей консервов «Филе куриное с сахарной кукурузой»:
 а – контроль образец; б – образец № 1 с внесением каррагинана в количестве 0,1 % к массе содержимого банки; в – образец № 2 с внесением каррагинана в количестве 0,2 % к массе содержимого банки; г – образец № 3 с внесением каррагинана в количестве 0,3 % к массе содержимого банки; д – образец № 4 с внесением каррагинана в количестве 0,4 % к массе содержимого банки; е – образец № 5 с внесением каррагинана в количестве 0,5 % к массе содержимого банки

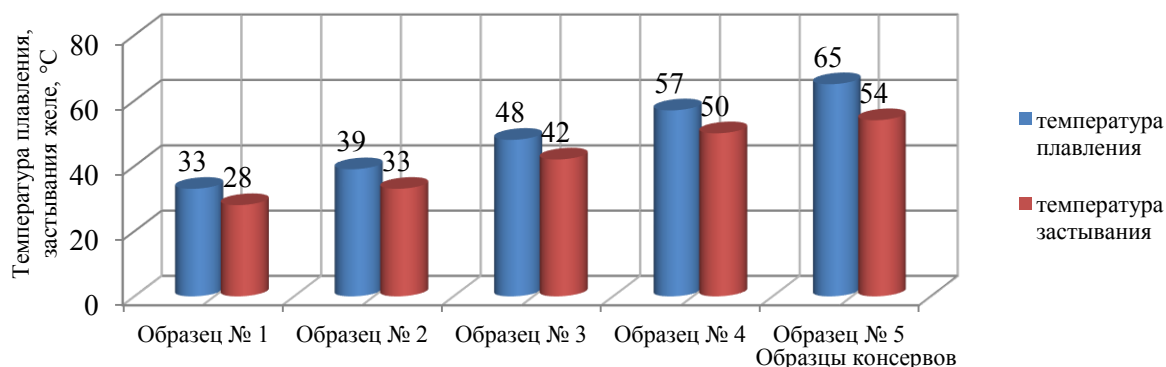


Рисунок 2 – Диаграмма температур плавления и застывания желе опытных образцов консервов «Филе куриное с сахарной кукурузой»

Анализ результатов, представленных на рисунке 1, показал прямую зависимость температуры плавления и застывания от концентрации каррагинана. При этом температура застывания повышалась с 28 до 54 °С, а температура плавления – с 33 до 65 °С. Наибольшая разница показателей в 9 °С была у образца № 5 с наибольшей концентрацией каррагинана, и наименьшая разница между температурой застывания и плавления в 4 °С – у образца № 1. Таким образом, с увеличением концентрации каррагинана усиливается стабильность желе.

Результаты изучения влияния вносимого каррагинана на выход готовой продукции продемонстрированы на рисунке 3.

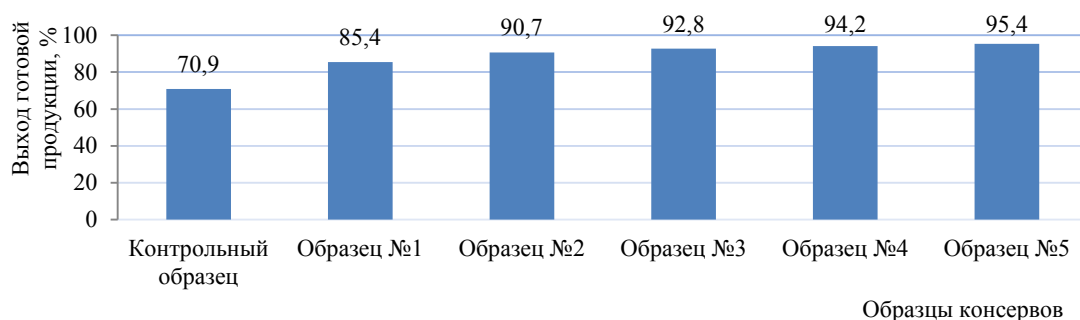


Рисунок 3 – Выход готовой продукции образцов консервов «Филе куриное с сахарной кукурузой»

Анализ данных рисунка 3 указывал на повышение выходов мяса с увеличением концентрации вводимого каррагинана. Наибольшая положительная разница +14,5 % была установлена между контрольным образцом и образцом № 1. Далее разница между процентами выходов у опытных образцов с повышением концентрации каррагинана распределилась следующим образом: между образцами № 2 и № 1 – 5,3 %, между образцами № 3 и № 2 – 2,1 %, между образцами № 3 и № 4 – 1,4 %, и между образцами № 4 и № 5 – 1,2 %.

Установлено, что с увеличением концентрации каррагинана в водной фракции снижалась способность мяса к поглощению воды из-за уменьшения количества свободной влаги, что еще раз подтверждало неэффективность применения каррагинана в данном продукте в концентрации свыше 0,3 % к массе содержимого банки.

Таким образом, исследованиями было установлено, что оптимальный процент внесения пищевой добавки «Каррагинан Бекаплюс С 106» в рецептуру мясо-растительных консервов, изготовленных из мяса птицы с добавлением зерен кукурузы, составлял 0,2–0,3 % к массе содержимого банки.

Химический состав образцов разработанного готового продукта с добавлением каррагинана в количестве 0,2 % (образец № 2) и в количестве 0,3 % (образец № 3) представлен в таблице 3.

Таблица 3

Химический состав образцов мясо-растительных консервов «Филе куриное с кукурузой сахарной»

Наименование образца	Содержание, г/ 100 г продукта			
	белки	жиры	углеводы	пищевые волокна
Контрольный образец	8,4±0,15	0,83±0,01	7,21±0,14*	0,03±0,0006
Образец № 2	8,5±0,15	0,81±0,01	7,37±0,14*	0,34±0,0006
Образец № 3	8,4±0,15	0,80±0,01	8,25±0,14*	0,47±0,0006

Примечание. Различие в значениях, указанных в строках *, статистически достоверны ($p \leq 0,01$).

Анализ химического состава показал, что разработанные мясо-растительные консервы из мяса птицы с зёрнами кукурузы имели низкую калорийность, при этом содержание белка составило около 8,5 %, а углеводов – от 7,37 до 8,25 %. При этом уровень пищевых волокон в опытных образцах превышал количество пищевых волокон в контрольном образце в 10–15 раз.

Заключение

Использование филе куриного и зерен кукурузы с желейной заливкой, стабилизированной каррагинаном в количестве 0,2–0,3 % к массе продукта, при производстве мясо-растительных консервов способствует получению низкокалорийного продукта с ярко выраженными органолептическими свойствами и высоким выходом продукта. При исследовании влияния каррагинанов на процесс формирования желейной заливки под действием процесса стерилизации

консервов было отмечено устойчивое прозрачное желе, что положительно сказывается на потребительских характеристиках готовой продукции. Добавление компонентов, в структуре которых присутствуют пищевые волокна, приведет к повышению перевариваемости продукта при употреблении.

Библиография

1. Тихонов С.Л., Тихонова Н.В., Приймак А.О. Пастообразный концентрат из пророщенных семян амаранта, обогащенных селеном, в производстве паштетных консервов // Вестник ВСГУТУ. – 2018. – № 1. – С. 53–59.
2. Плотников Д.А., Рявкин О.В., Сороколетов О.Н. Анализ влияния дополнительных белков в рецептуре мясных продуктов на потребительские свойства мясной гастрономии // Пищевая индустрия. – 2018. – № 1 (35). – С. 34–36.
3. Bazhenova B., Zhamsaranova S., Zabalueva Yu. et al. Effects of lingonberry extract on the antioxidant capacity of meat paste // Foods and Raw Materials. – 2020. – Т. 8, № 2. – С. 250–258.
4. Жиркова Е.В., Мартиросян В.В., Сотченко Е.Ф. Сахарная кукуруза: качество, безопасность, применение в диетическом питании // Вопросы питания. – 2015. – Т. 84, № 5. – С. 39.
5. Сырова Л.Н. Использование гидроколлоидов для желирования бульона в консервах из мяса курицы // Пищевые биотехнологии: инновационные решения и подготовка кадров: материалы междунар. науч.-практ. конф. МГУТУ им. К.Г. Разумовского. – М.: Директ-Медиа, 2021. – С. 329–334.
6. Ивлева А.Р., Канарская З.А. Применение полисахаридов в качестве гидроколлоидов в пищевых продуктах // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 14. – С. 418–422.
7. Гурова Н.В. Функциональные свойства гидроколлоидов // Химия пищевых гидроколлоидов: учеб.-метод. пособие. – М., 2001. – С. 12–34.

Bibliography

1. Tikhonov S.L., Tikhonova N.V., Priymak A.O. Paste-like concentrate from sprouted amaranth seeds enriched with selenium in production of canned pate // ESSUTM Bulletin. – 2018. – N 1. – P. 53–59.
2. Plotnikov D.A., Ryavkin O.V., Sorokoletov O.N. Analysis of influence of additional proteins in the recipe of meat products on the consumer properties of meat gastronomy // Food industry. – 2018. – N 1 (35). – P. 34–36.
3. Bazhenova B., Zhamsaranova S., Zabalueva Yu. et al. Effects of lingonberry extract on the antioxidant capacity of meat paste // Foods and Raw Materials. – 2020. – Vol. 8, N 2. – P. 250–258.
4. Zhirkova E.V., Martirosyan V.V., Sotchenko E.F. Sweet corn: quality, safety, application in dietary nutrition // Problems of Nutrition. – 2015. – Vol. 84, N 5. – P. 39.
5. Syarova L.N. The use of hydrocolloids for gelling broth in canned chicken meat // Food biotechnologies: innovative solutions and personnel training: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: K.G. Razumovsky MSUTM. – M: Publishing House Direct-Media, 2021. – P. 329–334.
6. Ivleva A.R., Kanarskaya Z.A. Application of polysaccharides as hydrocolloids in food products // Herald of Technological University, Kazan. – 2014. – Vol. 17, N 14. – P. 418–422.
7. Gurova N.V. Functional properties of hydrocolloids: study guide // Chemistry of food hydrocolloids. – M., 2001. – P. 12–34.

**4.3.5 – БИОТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ
И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
(БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

DOI 10.53980/24131997_2024_2_37

С.Л. Тихонов^{1,2}, д-р техн. наук, проф., e-mail: tihonov75@bk.ru

Н.В. Тихонова¹, д-р техн. наук, проф., e-mail: tihonov75@bk.ru

¹ Уральский государственный аграрный университет

² Уральский государственный лесотехнический университет
г. Екатеринбург

УДК 543.645.6

**ПИЩЕВОЙ ПЕПТИД ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОЙ МАССЫ ТЕЛА:
ВИРТУАЛЬНЫЙ СКРИНИНГ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТОКСИЧНОСТИ И ВЫВЕДЕНИЯ**

Целью исследований являлось прогнозирование токсичности и выведения биопептида, профилактирующего ожирение. В качестве объекта исследований использован синтезированный пептид со следующей последовательностью аминокислот: CHAECGAACKFCLEG, предупреждающий избыточную массу тела. Пептид имеет сходство с глюкагоноподобным пептидом-1 (GLP-1), регулирующим энергетический обмен. Характеристика пептида: общее гидрофобное соотношение –53 %, общий заряд равен + 0,25, гидрофобность пептида по Уимли – Уайту в целом остатке на уровне 4,63, молекулярная масса – 1556,826 Да, молекулярная формула – C₆₂H₉₇N₁₉O₂₀S₄, потенциал связывания с белками (индекс Бомана) составляет 0,93 ккал/моль, изоэлектрическая точка рН 6,77. Пептид хорошо растворим в воде. Установлено, что исследуемый пептид при приеме внутрь не вызывает острую токсичность, гепатотоксичность, цитотоксичность, не оказывает отрицательного влияния на деятельность сердца, не активизирует рецепторы генов белков теплового шока, не вызывает повреждения ДНК и нарушения функций митохондрий. Пептид характеризуется средним периодом полувыведения и низким плазменным клиренсом, что позволяет считать его эффективным. Следует отметить, что прогнозируемые характеристики не всегда совпадают с фактическими значениями, полученными в экспериментах in vitro. Поэтому возможно рекомендовать пептид для включения в состав продуктов питания специализированного и профилактического назначения при условии доказательства эффективности в доклинических и клинических исследованиях.

Ключевые слова: пептиды, избыточная масса тела, острая токсичность, гепатотоксичность, медикаментозная токсичность, период полувыведения, плазменный клиренс.

S.L. Tikhonov^{1,2}, Dr. Sc. Engineering, Prof.

N.V. Tikhonova¹, Dr. Sc. Engineering, Prof.

¹ Ural State Agricultural University

² Ural State Forestry Engineering University
Yekaterinburg

**FOOD PEPTIDE FOR THE PREVENTION OF OVERWEIGHT:
VIRTUAL SCREENING OF TOXICITY PREDICTION AND ELIMINATION**

The aim of the research is to predict the toxicity and excretion of a biopeptide that prevents obesity. A synthesized peptide with the following sequence of amino acids was used as object of research: CHAECGAACKFCLEG, preventing overweight. The peptide has similarities to glucagon-like peptide-1 (GLP-1), which regulates energy metabolism. Peptide characterization is the following: total hydrophobic ratio is 53 %, total charge is +0.25, hydrophobicity of the peptide according to Wimley-White in whole residue is 4.63, molecular weight 1556.826 Da, molecular formula C₆₂H₉₇N₁₉O₂₀S₄, protein binding potential (Boman index) is 0.93 kcal / mol,

isoelectric point pH 6.77. The peptide is highly soluble in water. The study established that the studied peptide, when ingested, does not cause acute toxicity, hepatotoxicity and cytotoxicity, does not adversely affect heart activity, does not activate heat shock protein gene receptors, does not cause DNA damage and mitochondrial dysfunction. The peptide is characterized by average half-life and low plasma clearance, which makes it effective. It should be noted that predicted characteristics do not always coincide with actual values obtained in *in vitro* experiments. Therefore, it is possible to recommend the peptide for inclusion in composition of specialized and preventive food products, provided that its effectiveness is proven in preclinical and clinical studies.

Key words: peptides, overweight, acute toxicity, hepatotoxicity, drug toxicity, half-life, plasma clearance.

Введение

Избыточная масса тела и ожирение становятся всемирной эпидемией и инициируют развитие неинфекционных заболеваний, включая сахарный диабет 2-го типа, сердечно-сосудистые заболевания, инсульт, рак, снижают продолжительность и качество жизни, могут приводить к депрессии [1]. Для ослабления развития ожирения предлагаются различные диеты и способы повышения уровня метаболизма. Но вместе с тем чрезмерные диетические вмешательства могут привести к нарушениям физического и психического здоровья [2], поэтому возрастает спрос на новые современные безопасные способы предупреждения ожирения без вреда для здоровья. Так для профилактики и лечения ожирения были предложены методы коррекции микробиоты кишечника. В частности, препарат Tempol снижает увеличение массы тела у лабораторных мышей за счет сокращения количества бактерий рода *Lactobacillus* в микробиоте кишечника [3]. Экстракт клюквы [4] увеличивает количество бактерий *Akkermansia muciniphila* в микробиоте кишечника и предупреждает ожирение, вызванное диетой. В исследованиях [5] установлено, что ежедневный прием *A. muciniphila* может противодействовать развитию ожирения, вызванного диетой с высоким содержанием жиров. Пероральное введение *Bacteroides thetaiotaomicron* [6] и *Lactobacillus rhamnosus* GG 13 ослабляет увеличение массы тела и развитие ожирения у мышей [7].

Поиск новых биологически активных веществ (БАВ), предупреждающих ожирение, является актуальным, так как эпидемия ожирения и связанные с ним метаболические осложнения продолжают оставаться серьезной проблемой здравоохранения из-за ограниченной эффективности методов лечения, особенно препаратов, которые можно принимать перорально.

К перспективным БАВ, способным снизить избыточную массу тела, относятся биопептиды. Биопептиды можно получать в результате ферментативного гидролиза белка [8]. Они биодоступны, безопасны и представляют собой отправную точку для разработки новых БАДов против ожирения [9]. В настоящее время получены ряд пептидов для предотвращения ожирения, в частности, глюкагоноподобный пептид-1 (GLP-1) [10], предсердный натрийуретический пептид и мозговой натрийуретический пептид [11]. У многих биопептидов последовательность аминокислот превышает 20, что приводит к их расщеплению протеолитическими ферментами в желудочно-кишечном тракте и, соответственно, потери направленности и биодоступности. Некоторые пептиды не могут проникать через слизистую оболочку кишечника, следовательно, требуется инъекция, что снижает удобство их применения. Следует отметить, что большинство населения для лечения ожирения предпочитают использовать БАДы и препараты для приема внутрь, чем препараты для инъекций. Следовательно, исследования биотехнологов должны быть посвящены разработке новых эффективных безопасных пептидов для профилактики и лечения перорального применения. Кроме того, пептиды не лишены недостатков – могут быть токсичны и вызывать побочные реакции [12]. Но вместе с тем в исследованиях [13] доказано, что пероральные пептидные препараты апелин и семаглутид высокоэффективны для снижения избыточной массы тела.

Авторами [14] разработан и оптимизирован пептид, состоящий из 9 аминокислот, обладающий высокой гидрофобностью и имеющий сходство с человеческим α -дефензином

5 (HD-5) [13]. На лабораторных мышах с индуцированным ожирением доказано, что полученный авторами [14] пептид обладает глюкорегуляторной способностью и предупреждает ожирение [15]. Но, прежде чем проектировать и создавать такие пептиды, желательно спрогнозировать их возможную токсичность и выведение из организма. В связи с этим **целью** исследований является прогнозирование токсичности и выведения биопептида, профилактирующего ожирение.

Материал и методы исследования

В качестве объекта исследований использован пептид со следующей последовательностью аминокислот СНАЕСГААСКЕFCLEG, предупреждающий избыточную массу тела. Пептид имеет сходство с глюкагоноподобным пептидом-1 (GLP-1), регулирующим энергетический обмен. Характеристика пептида: общее гидрофобное соотношение – 53 %, общий заряд равен +0,25, гидрофобность пептида по Уимли – Уайту в целом остатке на уровне 4,63, молекулярная масса – 1556,826 Да, молекулярная формула – C₆₂H₉₇N₁₉O₂₀S₄, потенциал связывания с белками (индекс Бомана) – 0,93 ккал/моль, изоэлектрическая точка – 6,77. Пептид хорошо растворим в воде.

Биологическая активности пептида по базе данных Peptide Ranker на уровне 0,858 при максимальной 1. Прогнозирование токсичности и выведения пептида проводили на платформе ADMET1 ab 3 (<https://admetlab3.scbdd.com/documentation/#/>).

Результаты исследований и их обсуждение

Некоторые пептиды могут иметь врожденную токсичность *in vivo*. Поэтому важно создавать пептиды нетоксичными или менее токсичными для человека при сохранении их биоактивности. Авторами [15] создана модель прогнозирования токсичности антимикробных пептидов. Для выявления ключевых свойств, лежащих в основе токсичности антимикробных пептидов, был отобран комплексный набор признаков как физико-химического, так и лингвистического характера с локальными и глобальными значениями. После выбора признаков гибридная модель показала высокую эффективность.

Проведены исследования о прогнозировании токсичности пептида СНАЕСГААСКЕFCLEG (табл. 1).

Таблица 1

Результаты прогнозирования токсичности пептида GRCTKSICHFRWPGCPPICFPD

Показатель	Фактическое прогнозированное значение	Описание значений/результат
1	2	3
hERG-блокаторы, ед.	0	менее 0,3: не является hERG-блокаторами
Острая токсичность при приеме внутрь, ед.	0	менее 0,3: не является токсичным при приеме внутрь (более 500 мг/кг)
Пороговая токсическая доза, ммоль / кг массы тела в сутки	0	менее 0–0,3: отрицательное значение токсичности (> 0,011 ммоль / кг массы тела в сутки)
Канцерогенность	0,0	Менее 0–0,3: не канцероген
Гепатотоксичность для человека	0,035	0–1: не гепатотоксичен
Медикаментозная нефротоксичность, ед.	0,146	менее 0,3: не нефротоксичен при значении от 0 до 0,3
Раздражение слизистой оболочки глаз, ед.	0,0	менее 0,3: не вызывающие раздражение слизистой оболочки глаз

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Раздражение слизистой оболочки дыхательных путей, ед.	0,0	менее 0,3: не вызывающие раздражение слизистой дыхательных путей
Иммунотоксичность RPMI-8226, ед.	0,006	менее 0,3: не иммунотоксичен в отношении клеточной линии RPMI-8226
Цитотоксичность в отношении клеток A549, ед.	0	менее 0,3: не токсичен в отношении клеток рака A 549
Цитотоксичность в отношении клеток Нек293, ед.	0	менее 0,3: не токсичен в отношении клеток рака Нек293
IGC50, log10[(мг/л)/(1000×МВТ)]	3,563	при значении 0–5 не токсичен
Взаимодействие с рецепторами: NR-AhR	не взаимодействует	не участвует в биосинтезе и не ингибирует нормальные функции стероидных гормонов, включая эстроген и андроген
NR-AR		не вызывает нарушения нормальной эндокринной функции, метаболического гомеостаза, репродукции, развития и поведенческих реакций
NR-ER-LBD		не взаимодействует с рецепторами стероидных гормонов ER и не вызывает нарушения нормальной эндокринной функции
NR-PPAR-гамма	взаимодействует с PPAR-гамма-рецептором	участвует в регуляции метаболизма глюкозы и липидов
SR-ATAD5	не активирует ген ELG1 (SR-человеческий ATAD5)	не приводит к нарушению репликации ДНК белка ATAD5
SR-HSE	не активирует ген белка теплового шока SR-HSE	не вызывает активации реакции на тепловой шок не нарушает функции митохондрий не повреждает ДНК
SR-MMP	не активирует ген белка, влияющий на мембранный потенциал митохондрий	
SR-p53	не активирует Рецепторы белка SR-p53	

Во время деполяризации и реполяризации сердца калиевый канал, управляемый напряжением, кодируемый hERG, играл важную роль в регуляции обмена потенциалами действия сердца и потенциалами покоя. Блокада hERG приводила к нарушению в работе сердечной мышцы. Молекулы с IC50 > 10 мкм классифицируются как не блокаторы hERG (категория 0). Пептид не вызывал блокаду hERG и был отнесен к категории 0.

При прогнозировании отстрой токсичности на крысах было установлено, что пептид не обладал острой токсичностью, поэтому пороговую токсичную дозу установить не удалось.

Среди различных токсикологических конечных точек химических веществ канцерогенность вызывает большую озабоченность из-за ее серьезного воздействия на здоровье человека. Канцерогенный механизм химических веществ может быть обусловлен их способностью повреждать геном или нарушать процессы клеточного метаболизма. Многие БАВ и лекарственные препараты были идентифицированы как канцерогенные и изъяты с рынка. Установлено, что исследуемый пептид не обладал канцерогенностью.

Лекарственное повреждение печени вызывает серьезную озабоченность с точки зрения безопасности пациентов и является распространенной причиной отзыва лекарств с рынка. Побочные эффекты со стороны печени в ходе клинических испытаний часто приводят к позднему прекращению дорогостоящих программ разработки лекарств. Установлено, что пептид не гепатотоксичен.

Лекарственная (медикаментозная) нефротоксичность относится к вредным воздействиям на почки из-за действия химических веществ и медикаментов, известных как нефротоксиканты. Из-за их ключевой роли в концентрировании и реабсорбции клубочкового фильтрата клетки проксимальных канальцев почек особенно подвержены повышенным уровням циркулирующих токсикантов. Значение медикаментозной нефротоксичности у пептида составило 0,146 ед., что свидетельствовало об ее отсутствии (менее 3).

Спрогнозирована токсичность пептида на клеточных линиях RPMI-8226 (множественная миелома) и A549 (клеточная линия рака легких человека). Установлено, что исследуемый пептид был не токсичен для вышеуказанных клеток. 48-часовой уровень IGC50 *Tetrahymena pyriformis* (концентрация исследуемого пептида в воде в мг/л, которая вызывает 50%-ное подавление роста *Tetrahymena pyriformis* через 48 ч) составил $3,563 -\log_{10}[(\text{мг/л})/(1000 \times \text{МВТ})]$, что свидетельствовало об отсутствии токсичности.

Проведена оценка токсичности по программе «Токсикология в XXI веке» (Tox21), которая включала идентификацию более 10 000 опасных и возможно опасных соединений, в частности взаимодействующих с рецептором андрогена (AR), арилуглеводородным рецептором (AhR) и другими [16]. В библиотеке соединений Tox21 используется панель из семи анализов рецепторов (NR) и пяти путей реакции на стресс (SR), что позволило получить наиболее значимые высококачественные данные о токсичности *in vitro* [17]. Данные, полученные с помощью Tox21, могут быть использованы для идентификации соединений, которые взаимодействуют с различными соединениями и образуют «токсические пути» [18]. Полученные данные можно сопоставлять с информацией о химической структуре вещества для обоснования того, вызовет ли химическое вещество определенный токсикологический результат *in vitro* [19, 20].

При прогнозировании токсичности по программе Tox21 идентифицируются химические вещества, взаимодействующие с рецепторами стероидных гормонов, например, с рецептором андрогена (AR) – рецептор ядерного гормона, который играет решающую роль в AR-зависимом раке предстательной железы и других заболеваниях, связанных с андрогенами. Химические вещества, разрушающие эндокринную систему (EDC) и их взаимодействие с рецепторами стероидных гормонов, такими как AR, могут вызывать нарушение нормальной эндокринной функции, а также нарушать метаболический гомеостаз, репродукцию, развитие и поведенческие функции. Установлено, что исследуемый пептид неактивен в отношении рецептора андрогена.

Арилуглеводородный рецептор (AhR) опосредует клеточные реакции на загрязнители окружающей среды, такие как ароматические углеводороды, посредством индукции ферментов фазы I и II и взаимодействует с другими сигнальными путями ядерных рецепторов. AhR относится к семейству основных факторов транскрипции «спираль – петля – спираль», имеет решающее значение для адаптивных реакций на изменения окружающей среды. Установлено, что исследуемый пептид неактивен в отношении рецептора андрогена и арилуглеводородного рецептора.

NR-ароматаза катализирует превращение андрогена в эстроген и играет ключевую роль в поддержании баланса андрогенов и эстрогенов в организме. Спрогнозировано, что пептид не участвует в биосинтезе и не ингибирует нормальные функции стероидных гормонов, включая эстроген и андроген, в организме.

Рецептор эстрогена (ER) играет важную роль в развитии, метаболическом гомеостазе и репродукции. Известны химические вещества, разрушающие эндокринную систему, и их взаимодействие с рецепторами стероидных гормонов, такими как ER, вызывает нарушение нормальной эндокринной функции. Поэтому важно понимать, имеется ли влияние пептида на сигнальный путь ER. Установлено, что пептид не активен в отношении рецептора эстрогена.

Рецепторы, активируемые пролифератором пероксисом (PPAR), представляют собой активируемые липидами факторы транскрипции суперсемейства ядерных рецепторов с тремя различными подтипами, а именно PPAR-альфа, PPAR-дельта (также называемые PPAR-бета) и PPAR-гамма (PPAR γ). Все эти подтипы гетеродимеризуются с ретиноидным X-рецептором (RXR) регулируют транскрипцию различных генов. PPAR-гамма-рецептор (рецептор глицерона) участвует в регуляции метаболизма глюкозы и липидов. Установлено, что исследуемый пептид участвует в регуляции углеводного и липидного обмена, что подтверждает его целевую направленность.

Уровень белка гена ELG1 (SR – человеческий ATAD5) повышается в ответ на различные типы повреждений ДНК. Спрогнозировано, что пероральное введение исследуемого пептида не приводит к нарушению репликации ДНК белка ATAD5.

SR-HSE – белок теплового шока. Различные химические вещества, условия окружающей среды и стресс могут приводить к активации реакции на тепловой шок / реакции развернутого белка (HSR/UPR). Введение пептида не вызывает активации реакции на тепловой шок.

Показатель SR-MMP отражает изменение параметров функции митохондрий. Мембранный потенциал митохондрий (ММП) генерируется митохондриальной цепью переноса электронов, которая создает электрохимический градиент в результате серии окислительно-восстановительных реакций. Этот градиент стимулирует синтез АТФ, важнейшей молекулы для различных клеточных процессов. Измерение ММП в клетках обычно используется для оценки влияния химических веществ на функцию митохондрий. Снижение ММП можно обнаружить с помощью липофильных катионных флуоресцентных красителей. Установлено, что пептид не оказывает отрицательного влияния на функцию и мембранный потенциал митохондрий.

SR-p53 – показатель повреждения ДНК. p53 – белок-супрессор опухолей, активируется после клеточного инсульта, включая повреждение ДНК и другие клеточные стрессы. Активация p53 регулирует жизнеспособность клеток, индуцируя репарацию ДНК, остановку клеточного цикла, апоптоз или клеточное старение. Следовательно, активация p53 является хорошим индикатором повреждения ДНК и других клеточных стрессов. Пептид не вызывает активации белка p53.

Таким образом, спрогнозировано, что пероральное введение пептида не оказывает токсического действия на клетки, органы, системы органов и организм в целом. В таблице 2 представлен виртуальный скрининг по выведению пептида из организма.

Таблица 2

Виртуальный скрининг по выведению пептида из организма

Показатель	Фактическое прогнозируемое значение	Описание значений/результат
Плазменный клиренс (CL _{плазма}), мл/мин/кг	1,35	низкий клиренс: <5 мл/мин/ кг; обеспечивается устойчивая концентрация в плазме крови
Период полувыведения (T _{1/2}), ч	4,46	средний период полувыведения

Плазменный клиренс (CL_{plasma}) характеризует скорость и количество выведения из организма химического вещества. По плазменному клиренсу определяют необходимую профилактическую и терапевтическую дозировку лекарственных веществ и БАВ, обеспечивающую стабильную концентрацию в плазме. Следует отметить, что большинство пептидов характеризуются высоким плазменным клиренсом, поэтому их часто используют для доставки лекарственных веществ в плазму или связывают с другими БАВ, способные постепенно высвобождаться в плазме. Исследуемый пептид характеризовался низким плазменным клиренсом (1,35 мл/мин/кг).

Средний период полувыведения БАВ и лекарств составляет от 4 до 8 ч. У исследуемого пептида период полувыведения составил 4,46 ч, в то время как у большинства пептидов T_{1/2}

короткий, что не позволяет их использовать как эффективный функциональный ингредиент для пищевой продукции и профилактических средств, предупреждающих ожирение.

Заключение

В результате проведенных исследований спрогнозирована токсичность пептида, предупреждающего ожирение. Показано, что исследуемый пептид не вызывает острую токсичность, гепатотоксичность, цитотоксичность, не оказывает отрицательного влияния на деятельность сердца, не активирует рецепторы генов белков теплового шока, не вызывает повреждения ДНК, нарушения функций митохондрий при приеме внутрь. Пептид характеризуется средним периодом полувыведения и низким плазменным клиренсом, что позволяет считать его эффективным. Следует отметить, что прогнозируемые характеристики не всегда совпадают с фактическими значениями, полученными в экспериментах *in vitro*. Поэтому возможно рекомендовать пептид для включения в состав продуктов питания специализированного и профилактического назначения при условии доказательства эффективности в доклинических и клинических исследованиях.

Библиография

1. *Yeh T.-L., Chen H.-H., Chiu H.-H. et al.* Morbidity associated with overweight and obesity in health personnel: a 10-year retrospective of hospital-based cohort study in Taiwan // *Diabetes Metab Syndr Obes.* – 2019. – N 12 (267). – P. 74.
2. *Ramos Salas X., Salas X.R.* The ineffectiveness and unintended consequences of the public health war on obesity // *Can J Public Health.* – 2015. – Vol. 106 – P. E79.
3. *Li F., Jiang C., Krausz K.W. et al.* Microbiome remodelling leads to inhibition of intestinal farnesoid X receptor signalling and decreased obesity // *Nat Commun.* – 2013. – N 4. – P. 2384.
4. *Anhê F.F., Roy D., Pilon G. et al.* A polyphenol-rich cranberry extract protects from diet-induced obesity, insulin resistance and intestinal inflammation in association with increased *Akkermansia spp.* population in the gut microbiota of mice // *Gut.* – 2015. – N 64 (872). – P. 83.
5. *Org E., Mehrabian M., Lusic A.J.* Unraveling the environmental and genetic interactions in atherosclerosis: Central role of the gut microbiota // *Atherosclerosis.* – 2015. – N 241 (387). – P. 9.
6. *Liu R., Hong J., Xu X. et al.* Gut microbiome and serum metabolome alterations in obesity and after weight-loss intervention // *Nat Med.* – 2017. – N 23 (859). – P. 68.
7. *Cheng Y.-C., Liu J.-R.* Effect of *Lactobacillus rhamnosus* GG on Energy Metabolism, Leptin Resistance, and Gut Microbiota in Mice with Diet-Induced Obesity // *Nutrients.* – 2020. – N 12 (9). – DOI: 10.3390/nu12092557.
8. *Жамсаранова С.Д., Лебедева С.Н., Болхонов Б.А. и др.* Ферментативная конверсия пищевого белка и оценка антиоксидантной активности пептидов // *Вестник ВСГУТУ.* – 2021. – № 4 (83). – С. 5–14. – DOI: 10.53980/24131997_2021_4_5.
9. *Fosgerau K., Hoffmann T.* Peptide therapeutics: current status and future directions // *Drug Discov Today.* – 2015. – N 20 (122). – P. 8.
10. *Xu F., Lin B., Zheng X. et al.* GLP-1 receptor agonist promotes brown remodelling in mouse white adipose tissue through SIRT1 // *Diabetologia.* – 2016. – N 59 (1059). – P. 69.
11. *Bordicchia M., Liu D., Amri E.-Z. et al.* Cardiac natriuretic peptides act via p38 MAPK to induce the brown fat thermogenic program in mouse and human adipocytes // *J Clin Invest.* – 2012. – N 122 (1022). – P. 36.
12. *Sun L.* Peptide-based drug development // *Mod Chem Appl.* – 2013. – N 01 (1) – P. 2.
13. *Fournel A., Drougard A., Duparc T. et al.* Apelin targets gut contraction to control glucose metabolism via the brain // *Gut.* – 2017. – N 66 (258). – P. 69.
14. *Li Z., Zhang B., Wang N. et al.* A novel peptide protects against diet-induced obesity by suppressing appetite and modulating the gut microbiota // *Gut.* – 2023. – N 72 (686). – P. 698.
15. *Larsen I.S., Fritzen A.M., Carl C.S. et al.* Human Paneth cell α -defensin-5 treatment reverses dyslipidemia and improves glucoregulatory capacity in diet-induced obese mice // *Am J Physiol Endocrinol Metab.* – 2019. – N 317 (E42). – P. 52.

16. *Khabbaz H., Karimi-Jafar M.H., Saboury A.A. et al.* Prediction of antimicrobial peptides toxicity based on their physico-chemical properties using machine learning techniques // *BMC Bioinformatics*. – 2021. – N 22 (1). – P. 549. – DOI: 10.1186/s12859-021-04468-y.
17. *Tice R.R., Austin C.P., Kavlock R.J. et al.* Improving the human hazard characterization of chemicals: A Tox21 update // *Environ. Health Perspect.* – 2013. – N 121. – P. 756–765.
18. Tox21 Data Challenge 2014 // National Center for Advancing Translational Sciences (NCATS). – URL: <https://tripod.nih.gov/tox21/challenge>.
19. *Paul-Friedman K., Martin M., Crofton K.M. et al.* Limited chemical structural diversity found to modulate thyroid hormone receptor in the Tox21 chemical library // *Environ. Health Perspect.* – 2019. – N 127. – P. 097009.
20. *Barta G.* Identifying biological pathway interrupting toxins using multi-tree ensembles // *Front. Environ. Sci.* – 2016. – Vol. 4. – 12 p.
21. *Koutsoukas A., St Amand J., Mishra M. et al.* Predictive toxicology: Modeling chemical induced toxicological response combining circular fingerprints with random forest and support vector machine // *Front. Environ. Sci.* – 2016. – N 4. – P. 11.

Bibliography

1. *Yeh T.-L., Chen H.-H., Chiu H.-H. et al.* Morbidity associated with overweight and obesity in health personnel: a 10-year retrospective of hospital-based cohort study in Taiwan // *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*. – 2019. – N 12 (267). – P. 74.
2. *Salas X.R.* The ineffectiveness and unintended consequences of the public health war on obesity // *Canadian Journal of Public Health*. – 2015. – Vol. 106 – P. E79.
3. *Li F., Jiang Ch., Krausz K.W. et al.* Microbiome remodelling leads to inhibition of intestinal farnesoid X receptor signalling and decreased obesity // *Nature Communications*. – 2013. – N 4. – P. 2384.
4. *Anhê F.F., Roy D., Pilon G. et al.* A polyphenol-rich cranberry extract protects from diet-induced obesity, insulin resistance and intestinal inflammation in association with increased *Akkermansia* spp. population in the gut microbiota of mice // *Gut*. – 2015. – N 64 (872). – P. 83
5. *Org E., Mehrabian M., Lusic A.J.* Unraveling the environmental and genetic interactions in atherosclerosis: Central role of the gut microbiota // *Atherosclerosis*. – 2015. – N 241 (387). – P. 9.
6. *Liu R., Hong J. Xu X. et al.* Gut microbiome and serum metabolome alterations in obesity and after weight-loss intervention // *Nature Medicine*. – 2017. – N 23 (859). – P. 68.
7. *Cheng Y.-C., Liu J.-R.* Effect of *Lactobacillus rhamnosus* GG on Energy Metabolism, Leptin Resistance, and Gut Microbiota in Mice with Diet-Induced Obesity // *Nutrients*. – 2020. – N 12 (9). – DOI: 10.3390/nu12092557.
8. *Zhamsaranova S.D., Lebedeva S.N., Bolkhonov B.A. et al.* Enzymatic food protein conversion and assessment of antioxidant activity of peptides // *ESSUTM Bulletin*. – 2021. – N 4 (83). – P. 5–14. – DOI: 10.53980/24131997_2021_4_5.
9. *Fosgerau K., Hoffmann T.* Peptide therapeutics: current status and future directions // *Drug Discovery Today*. – 2015. – N 20 (122). – P. 8.
10. *Xu F., Lin B., Zheng X. et al.* GLP-1 receptor agonist promotes brown remodelling in mouse white adipose tissue through SIRT1 // *Diabetologia*. – 2016. – N 59 (1059). – P. 69.
11. *Bordicchia M., Liu D., Amri E.-Z. et al.* Cardiac natriuretic peptides act via p38 MAPK to induce the brown fat thermogenic program in mouse and human adipocytes // *Journal of Clinical Investigation*. – 2012. – N 122 (1022). – P. 36.
12. *Sun L.* Peptide-based drug development // *Modern Chemistry and Applications*. – 2013. – N 01 (1) – P. 2.
13. *Fournel A., Drougard A., Duparc T. et al.* Apelin targets gut contraction to control glucose metabolism via the brain // *Gut*. – 2017. – N 66 (258). – P. 69.
14. *Li Z., Zhang B., Wang N. et al.* A novel peptide protects against diet-induced obesity by suppressing appetite and modulating the gut microbiota // *Gut*. – 2023. – N 72 (686). – P. 698.
15. *Larsen I.S., Fritzen A.M., Carl C.S. et al.* Human Paneth cell α -defensin-5 treatment reverses dyslipidemia and improves glucoregulatory capacity in diet-induced obese mice // *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*. – 2019. – N 317 (E42). – P. 52.

16. *Khabbaz H., Karimi-Jafar M.H., Saboury A.A. et al.* Prediction of antimicrobial peptides toxicity based on their physico-chemical properties using machine learning techniques // *BMC Bioinformatics*. – 2021. – N 22 (1). – P. 549. – DOI: 10.1186/s12859-021-04468-y.
17. *Tice R.R., Austin C.P., Kavlock R.J. et al.* Improving the human hazard characterization of chemicals: A Tox21 update // *Environmental Health Perspectives*. – 2013. – N 121. – P. 756–765.
18. Tox21 Data Challenge 2014 // National Center for Advancing Translational Sciences (NCATS). – URL: <https://tripod.nih.gov/tox21/challenge>.
19. *Paul-Friedman K., Martin M., Crofton K.M. et al.* Limited chemical structural diversity found to modulate thyroid hormone receptor in the Tox21 chemical library // *Environmental Health Perspectives*. – 2019. – N 127. – P. 097009.
20. *Barta G.* Identifying biological pathway interrupting toxins using multi-tree ensembles // *Frontiers in Environmental Science*. – 2016. – Vol. 4. – P. 12.
21. *Koutsoukas A., St Amand J., Mishra M. et al.* Predictive toxicology: Modeling chemical induced toxicological response combining circular fingerprints with random forest and support vector machine // *Frontiers in Environmental Science*. – 2016. – N 4. – P. 11.

DOI 10.53980/24131997_2024_2_46

Б.А. Болхонов, аспирант, e-mail: hybushka4567@gmail.com

С.Д. Жамсаранова, д-р биол. наук, проф., e-mail: zhamsarans@mail.ru

Д.В. Шалбуев, д-р техн. наук, проф., e-mail: shalbuevd@mail.ru

Т.Б. Тумурова, канд. техн. наук, доц., e-mail: tumurova_t@mail.ru

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

УДК 641.11:577.117

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ФОРМ ЦИНКА И СЕЛЕНА НА ОСНОВЕ БЕЛКА КОЛЛАГЕНА

Данная статья представляет результаты исследований, целью которых являлась разработка теоретической компьютерной модели формирования органических форм цинка и селена на основе возможности их взаимодействия с коллагеновой матрицей. В качестве органического носителя был выбран коллаген. С применением программного обеспечения HyperChem v8.0 были использованы квантово-химические, полумпирические и молекулярно-динамические методы для изучения изменений молекулярных свойств и проведения квантово-механического моделирования атомных структур. Молекулярные структуры органических форм микроэлементов с аминокислотами были созданы и оптимизированы геометрически. Рассмотрены различные варианты и комбинации соединений цинка и селена с четырьмя аминокислотами, наиболее часто встречаемыми в коллагене. Оценка корректности геометрической оптимизации, минимизации потенциальной энергии и сбалансированности энергетических свойств системы проводилась на основе суммарной энергии компонентов. Полученные результаты указывают на потенциально возможное взаимодействие микроэлементов с аминокислотами коллагена.

Ключевые слова: коллаген, микронутриенты, микроэлементы, молекулярный докинг, энергия связи.

B.A. Bolkhonov, P.G. student

S.D. Zhamsaranova, Dr. Sc. Biology, Prof.

D.V. Shalbuev, Dr. Sc. Engineering, Prof.

T.B. Tumurova, Cand. Sc. Engineering

East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude

COMPUTER MODELLING OF COLLAGEN PROTEIN ZINC AND SELENIUM ORGANIC FORMS

This article presents the results of research aimed at developing a theoretical computer model of organic forms of zinc, selenium and their interaction with collagen matrix. Collagen was chosen as an organic carrier. Quantum chemical, semiempirical and molecular dynamic methods were used to study changes in molecular properties and to perform quantum mechanical modeling of atomic structures using HyperChem v8.0 software. Molecular structures of organic forms of trace elements with amino acids were designed and optimized geometrically. The present study considers different variants and combinations of zinc and selenium compounds with four amino acids most commonly found in collagen. The correctness of geometric optimization, potential energy minimization and balanced energy properties of the system were evaluated based on the total energy of the components. The results obtained indicate potential interaction of trace elements with collagen amino acids.

Key words: collagen, micronutrients, trace elements, molecular docking, binding energy.

Введение

В современном мире в условиях глобального дефицита микроэлементов биохимия и биология органических форм таких микроэлементов, как цинк и селен, занимают центральное ме-

сто. Эти микроэлементы играют ключевую роль в биологических процессах, регулируя активность ферментов, участвуя в обмене веществ и обеспечивая правильное функционирование иммунной системы [1, 2]. Однако, несмотря на огромный объем исследований, проведенных в этой области, механизмы их получения и действия в организме остаются недостаточно изученными [3]. На сегодня большинство исследователей, работающих в области микроэлементологии, склоняются к большей эффективности и перспективности органических форм по сравнению с неорганическими формами микроэлементов. В ряде работ обсуждаются способы получения комплексов эссенциальных микроэлементов с белками, пептидами, со свободными аминокислотами и исследование их биодоступности [4]. Одной из перспективных матриц для образования хелатных комплексов с эссенциальными микроэлементами являются побочные белковые продукты пищевой промышленности.

Коллаген становится все более популярным в качестве основного строительного биоматериала в различных направлениях биоинженерии благодаря своей превосходной биосовместимости, допустимой биоразлагаемости и низкой иммуногенности [5]. Животные являются основными источниками коллагена, так как в их тканях содержится большое количество этого белка до 30 % от их сухого веса [6]. Коллаген – это фибриллярный белок, составляющий структурный каркас соединительных тканей, придающий им прочность и эластичность. Он также участвует в процессах клеточной коммуникации и регуляции клеточных функций. В основном коллаген получают из субпродуктов и отходов мясной промышленности, перерабатывающих мясо крупных жвачных животных, свиней, птицы и рыбы. В классических методиках коллаген выделяют из ахилловых сухожилий быков, хвостов крыс или тканей свиней. Исследователи выделяют коллаген из различных животных источников, таких как свиные шкуры, сухожилия лошадей, шкуры рептилий, сухожилия крыс, хвосты кенгуру, сухожилия оленей, кости аллигаторов, конечности перепелов, кожа колибри, ткани морских организмов, чешуя рыб и другие побочные продукты рыболовства.

В тканях млекопитающих идентифицировано более 29 различных типов коллагенов, однако только коллагены I, II и III типов являются истинными фибриллярными белками. Наиболее распространенным типом является коллаген I типа, составляющий около 90 % от общего количества в организме. Структура коллагена состоит из трех полипептидных цепей – α -цепей, которые могут образовывать правосторонние тройные спирали, содержащие повторы Gly-X-Y [7]. В позициях X и Y часто обнаруживаются пролин и гидроксипролин. Глицин составляет до 30 % от общего содержания аминокислот в коллагене. Тройная спираль стабилизируется за счет водородных связей и электростатических взаимодействий [7, 8].

Недавнее исследование показало, что коллаген I типа может связывать воспалительные интерлейкины, такие как IL-1 β , IL-6 и IL-8, и способен формировать физиологическую среду раны, которая поддерживает процесс заживления [9]. Более того, коллаген I типа продемонстрировал способность связывания эластазы и матриксной металлопротеиназы 2 (ММП-2) [10, 11]. Разнообразные молекулярные сочетания коллагена в тканевых структурах способны вступать в комплексное взаимодействие с трансмембранными рецепторными комплексами, где главенствующую роль играют α -1 β -1 и α -2 β -1 интегрины. Эти рецепторные образования выступают в качестве своеобразных молекулярных мостиков, объединяющих клеточные структуры с внеклеточным матриксом [12]. Также стоит отметить способность молекул коллагена образовывать хелатные комплексы с Ca²⁺, что оказывает влияние на его структурные и механические свойства. Несмотря на высокие механические свойства нативного коллагена в тканях, биоматериалы на основе коллагена не всегда обладают достаточной механической прочностью.

Таким образом коллаген является весьма перспективным, биогенным, экологически и экономически выгодным объектом для использования его в качестве матрицы.

Одним из перспективных направлений в научных исследованиях является разработка компьютерных моделей для изучения взаимоотношений между матрицей и микроэлементами, в частности между цинком или селеном. Эти модели помогут нам не только понять, как моле-

кулы взаимодействуют друг с другом, но и то, как эти взаимодействия могут выглядеть и каковы их свойства. Теоретические модели, основанные на такой системе, позволяют узнать много интересного о различных биологических системах, а также раскрыть некоторые механизмы действия [13, 14].

Цинк и селен имеют большое значение для сельского хозяйства, биотехнологии и медицины. В медицине, например, цинк и селен успешно применяются при лечении онкологических заболеваний, помогают предотвратить болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, диабет и другие заболевания. Понимание того, как эти два элемента взаимодействуют с биологическими молекулами, может привести к появлению новых методов лечения или профилактики различных заболеваний. Кроме того, будучи ценными микроэлементами в сельском хозяйстве и цепочках поставок продуктов питания, цинк и селен необходимы для здорового роста сельскохозяйственных животных, а также для повышения урожайности в процессе производства [15, 16]. Аналогичные исследования были проведены с использованием гидролизата соевого белка в качестве органической матрицы при моделировании взаимодействий микроэлементов, таких как йод, цинк и селен, с различными биомолекулами гидролизата [17]. Успешное выполнение этой задачи может привести к созданию инструмента, который сможет значительно углубить наше понимание роли цинка и селена в биологических системах [18, 19].

Таким образом, создание компьютерной модели органических форм микроэлементов, таких как цинк и селен, открывает новые перспективы и возможности для дальнейших исследований, а также имеет огромный потенциал для практического применения в медицине, сельском хозяйстве и биотехнологии.

Целью данной работы явилась разработка гипотетической модели связывания цинка и селена с белком коллагеном.

Материалы и методы исследования

Метод молекулярного докинга был выбран для исследования взаимодействия коллагена с неорганическими формами цинка и селена. Данный метод позволяет предсказать и оценить возможные конформации комплексов, образуемых между молекулами-лигандами (белками, пептидами) и целевыми мишенями (неорганическими формами цинка и селена), а также оценить их взаимосвязь и силу связывания [20, 21].

В качестве объектов исследования была выбрана модель белка коллагена, которая использовалась в качестве лиганда для молекулярного докинга с неорганическими формами цинка и селена.

Для проведения молекулярного докинга было использовано программное обеспечение HyperChem v8.0. Оно обладает широким спектром инструментов для моделирования и расчета химических структур и свойств. HyperChem v8.0 предоставляет возможность проведения молекулярного докинга с высокой точностью и предсказуемостью, что делает его предпочтительным при выборе используемого метода.

Для наиболее вероятного подтверждения возможности гипотетического паттерна неподвижности в качестве эталона была использована энергия связи, рассчитанная полуэмпирическим методом (PM3) [22]. Энергетическая теория химических связей гласит: чем ниже суммарный энергетический баланс молекулы, тем она стабильнее и устойчивее. Опираясь на этот принцип, для выстраивания гипотетических моделей органических форм селена и цинка использовались имеющиеся литературные сведения и базы данных, содержащие информацию о белковых молекулярных структурах [23].

Результаты и их обсуждения

Анализ аминокислотного состава коллагена позволил выявить характерные особенности его структуры. Коллаген, будучи белковым компонентом соединительной ткани, содержит высокую концентрацию глицина, пролина, гидроксипролина и аланина [24]. Данные аминокислоты играют важную роль в формировании тройных спиралей, характерных для коллагеновых

волокон, и определяют уникальные механические свойства коллагена. Полученные результаты являются важным предварительным этапом для исследования низкомолекулярных пептидов коллагенового происхождения, взаимодействующих с неорганическими формами цинка и селена, и их последующего моделирования с использованием метода молекулярного докинга.

Атом цинка может быть связан с аминокислотами, образуя структуру, аналогичную цинковому пальцу. В молекулярной докинг-модели атом цинка может взаимодействовать с определенными аминокислотными остатками, обеспечивая их координацию вокруг себя. Такое взаимодействие может играть ключевую роль в стабилизации белковых структур, регулировании их активности.

На рисунке 1 представлены наиболее вероятные варианты моделей взаимодействия ионов цинка с различными аминокислотными остатками.

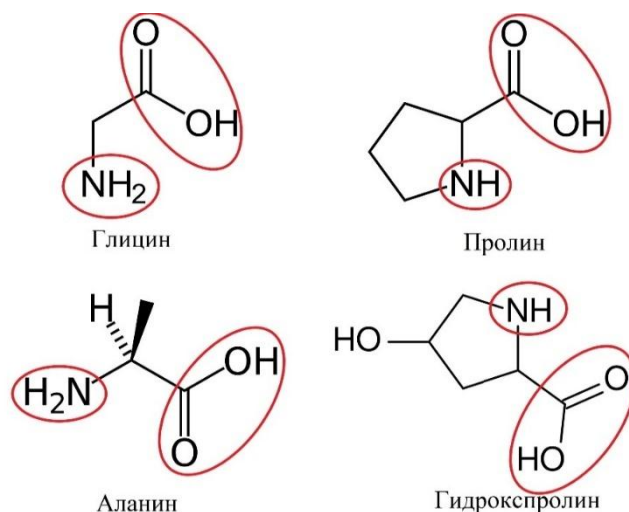


Рисунок 1 – Функциональные группы различных аминокислот, способные взаимодействовать с цинком

Результаты компьютерного моделирования в программе HyperChem v8.0, где были смоделированы четыре различных варианта координационного связывания ионов цинка с аминокислотными остатками и выполнены расчеты энергетических характеристик образующихся связей, показали, что наибольшей энергией связывания с цинком обладала аминокислота гидроксипролин, для которой рассчитанное значение энергии составило -1755,93 ккал/моль (табл. 1).

Таблица 1

Энергия связи,
характеризующая различные взаимодействия с аминокислотами

Название аминокислоты	Значения энергии связи (E), ккал/моль
Глицин	-928,01
Пролин	-1656,34
Аланин	-1209,86
Гидроксипролин	-1755,93

В ходе компьютерного моделирования были рассмотрены различные возможные варианты координационного связывания ионов цинка с аминокислотными остатками, при которых цинк мог взаимодействовать как с аминогруппами, так и с карбоксильными группировками аминокислот. Результаты расчетов энергетических характеристик полученных модельных структур (рис. 2) показали, что наибольшей энергией связывания (-6945,75 ккал/моль) обладает

комплекс, в котором ион цинка координирован с гидроксипролином посредством связи с аминогруппой данного аминокислотного остатка. Следует отметить, что ионы цинка, как правило, не склонны к образованию стабильных координационных комплексов при связывании через карбоксилатные группы, что делает такие цинк-карбоксилатные структуры менее прочными и менее распространенными по сравнению с другими типами цинксодержащих соединений. На основе полученных данных в качестве базовой модели для дальнейшего компьютерного моделирования была выбрана структура, в которой атом цинка связан с аминокислотным остатком посредством координационного взаимодействия с аминогруппой.

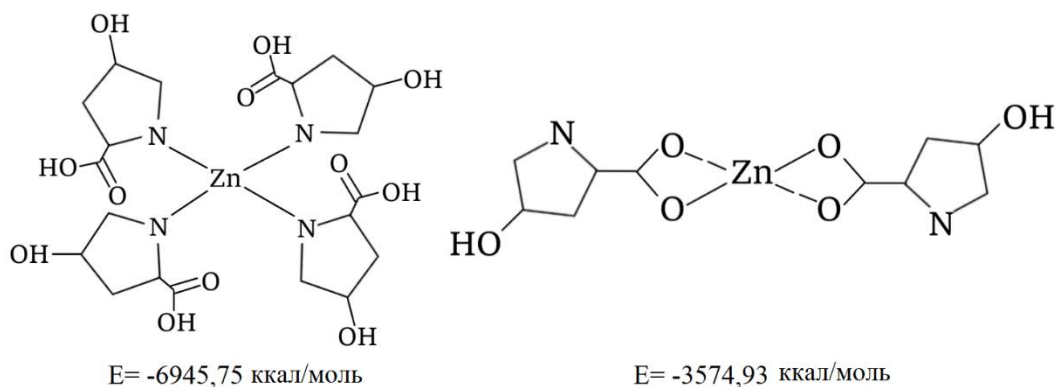


Рисунок 2 – Возможные варианты взаимодействия цинка с аминокислотами

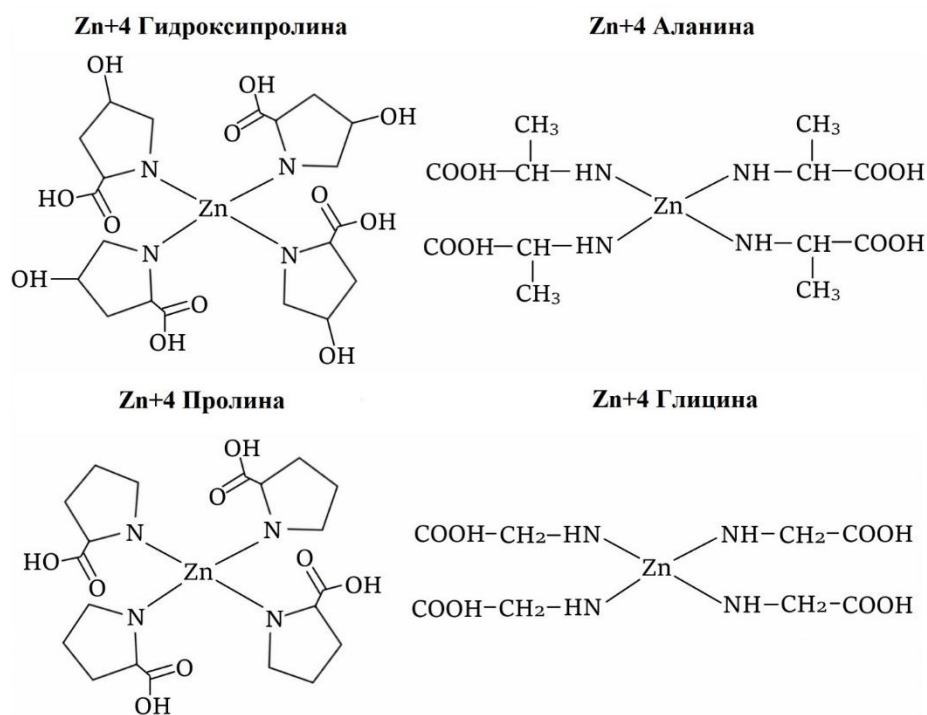


Рисунок 3 – Возможные варианты взаимодействия цинка с различными аминокислотами

Следующим этапом исследований стало компьютерное моделирование взаимодействия ионов цинка с четырьмя аминокислотами: глицином, пролином, аланином и гидроксипролином. При этом связывание цинка с указанными аминокислотами осуществлялось посредством координации через их аминогруппы (рис. 3).

Проведенные расчеты энергетических параметров образующихся цинк-аминокислотных комплексов, результаты которых представлены в таблице 2, показали, что наибольшей энергией связи (-6945,75 ккал/моль) обладает модель, включающая цинк и гидроксипролин.

Именно данная модельная структура цинк-гидроксипролинового комплекса была выбрана в качестве основы для дальнейших теоретических расчетов и компьютерного моделирования.

Таблица 2

Взаимодействие аминокислот с цинком:
расчетные значения энергии связи

Название аминокислоты	Значение энергии связи (E), ккал/моль
Глицин	-3410,23
Пролин	-5909,98
Аланин	-4049,22
Гидроксипролин	-6945,74

Следующим шагом нужно было присоединить селен. Селен может связываться с карбоксильными группами аминокислот, что дает возможность присоединить его в различных местах (рис. 4) [25].

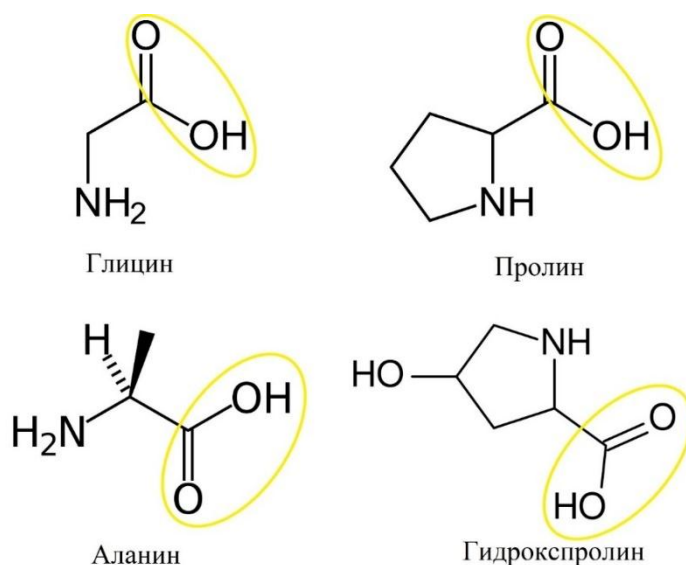


Рисунок 4 – Функциональные группы различных аминокислот, способные взаимодействовать с цинком

После определения базовой модели в виде комплекса цинка, связанного с гидроксипролином через аминогруппу, следующим этапом исследований стало компьютерное моделирование процессов присоединения атомов селена к данной структуре. Были построены и изучены модели с введением одного и двух атомов селена в цинк-гидроксипролиновый комплекс. Проведенные расчеты энергетических характеристик полученных структур показали, что максимальной энергией связывания (-7540,99 ккал/моль) обладает конфигурация, в которой два атома селена присоединены к карбоксильным группам гидроксипролина по обеим сторонам от центрального иона цинка (табл. 3). Таким образом, результаты расчетов продемонстрировали, что среди рассмотренных вариантов наибольшей энергией связи обладает модель с двумя атомами селена, связанными с цинк-гидроксипролиновым комплексом по обеим сторонам от центрального цинкового иона.

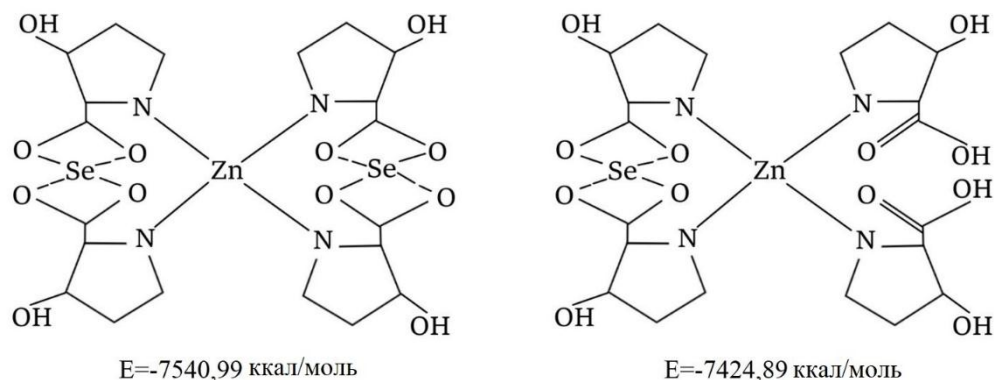


Рисунок 5 – Возможные варианты взаимодействия селена с полученным комплексом

Таким образом, с учетом полученных данных мы можем заключить, что наиболее вероятной структурой комплекса, образованного аминокислотой в координации с ионами цинка и селена, может быть конфигурация, представленная на рисунке 6. Этот комплекс проявил наивысшую энергию связи ($E = -7540,99$ ккал/моль). Следует подчеркнуть, что предложенная гипотетическая модель применима лишь к конкретным аминокислотам, поскольку свободное пространство для координации отдельных пептидных цепочек отсутствует.

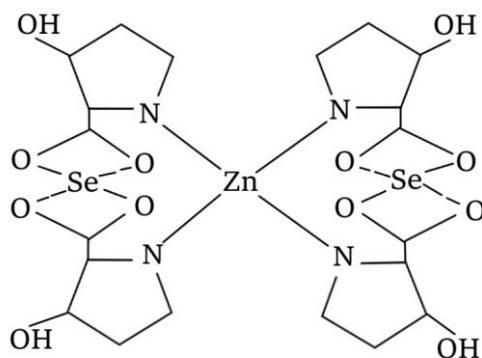


Рисунок 6 – Гипотетическая модель органической формы цинка и селена

Заключение

В завершение работы можно утверждать, что результаты представленного исследования значительно обогатили наше понимание молекулярных взаимодействий между цинком, селеном и аминокислотами. Полученные данные подтверждают возможность образования стабильных комплексов между этими микроэлементами и аминокислотами, что может иметь большое значение для понимания и использования биологической активности и функциональных свойств пищевых добавок. Однако необходимо отметить, что предложенная гипотетическая модель применима только к определенным аминокислотам, учитывая ограниченное пространство для связывания отдельных пептидных цепочек. Дальнейшие исследования в этом направлении позволят детальнее изучить молекулярные механизмы, определяющие взаимодействие между данными компонентами, и оценить потенциальные области их практического применения.

Библиография

1. Shini S., Sultan A., Bryden W.L. Selenium Biochemistry and Bioavailability: Implications for Animal Agriculture // Agriculture. – 2015. – Vol. 5, N 4. – P. 1277–1288. – DOI: 10.3390/agriculture5041277.
2. Wang J., Um P., Dickerman B.A. et al. Zinc, Magnesium, Selenium and Depression: A Review of the Evidence, Potential Mechanisms and Implications // Nutrients. – 2018. – Vol. 10, N 5. – P. 584. – DOI: 10.3390/nu10050584.

3. *Maret W.* Zinc biochemistry: from a single zinc enzyme to a key element of life // *Biofactors*. – 2013. – Vol. 40, N 1. – P. 27–40. – DOI: 10.1002/biof.1114.
4. *Мазо В.К., Гмошинский И.В., Ширина Л.И.* Новые пищевые источники эссенциальных микроэлементов-антиоксидантов. – М.: Миклош, 2009. – 208 с.
5. *Meyer M.* Processing of collagen based biomaterials and the resulting materials properties // *Biomedical Engineering Online*. – 2019. – Vol. 18, N 1. – P. 24.
6. *Wang Y. [et al.]*. Advanced functional biocomposites based on collagen nanofibers for high-quality leather processing: a review // *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. – 2021. – Vol. 6, N 2. – P. 153–166.
7. *Shoulders M.D., Raines R.T.* Collagen structure and stability // *Annual Review of Biochemistry*. – 2009. – Vol. 78. – P. 929–958.
8. *Heino J.* The collagen family members as cell adhesion proteins // *Bioessays*. – 2007. – Vol. 29, N 10. – P. 1001–1010.
9. *Sklenarova R. [et al.]*. Collagen as a biomaterial for skin and cornea wound healing // *Journal of Functional Biomaterials*. – 2022. – Vol. 13, N 4. – P. 249.
10. *Metzmacher I. [et al.]*. In vitro binding of matrix metalloproteinase-2 (MMP-2), MMP-9, and bacterial collagenase on collagen wound dressings // *Wound Repair and Regeneration*. – 2007. – Vol. 15, N 4. – P. 549–555.
11. *Schönfelder U. [et al.]*. Influence of selected wound dressings on PMN elastase in chronic wound fluid and their antioxidative potential in vitro // *Biomaterials*. – 2005. – Vol. 26, N 33. – P. 6664–6673.
12. *Dhavalikar P., Maleckis K., Lorenz C. et al.* Review of integrin-targeting biomaterials in tissue engineering // *Advanced Healthcare Materials*. – 2020. – Vol. 9, N 23. – P. 2000795.
13. *Ramachandran K.I., Deepa G., Namboori K.* Computational chemistry and molecular modeling: principles and applications. – Springer Science & Business Media, 2008.
14. *Миронов А.* Роль компьютерного моделирования в биохимических исследованиях // *Журнал компьютерной химии*. – 2015. – Т. 20, № 3. – С. 112–125.
15. *Трошина Е.А., Сеньюшкина Е.С.* Роль цинка в процессах синтеза и метаболизма гормонов щитовидной железы // *КЭТ*. – 2020. – № 3. – С. 25–30.
16. *Заикина И.В., Комлева Н.Е., Микеров А.Н.* Роль витамина D, цинка и селена в развитии неинфекционных заболеваний (обзор литературы) // *Гигиена и санитария*. – 2021. – Т. 100, № 7. – С. 730–735.
17. *Жамсаранова С.Д., Лыгденов Д.В., Соколов Д.В. и др.* Создание гипотетической компьютерной модели органических форм микроэлементов // *Вестник ВСГУТУ*. – 2019. – № 3 (74). – С. 26–34.
18. *Тарасова Л.В.* Роль селена, цинка и марганца в патогенезе хронического гастрита и язвенной болезни двенадцатиперстной кишки // *Медицинский альманах*. – 2012. – № 2.
19. *Schwarz M. [et al.]*. Crosstalk of Nrf2 with the trace elements selenium, iron, zinc, and copper // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, N 9. – P. 2112.
20. *Pinzi L., Rastelli G.* Molecular docking: shifting paradigms in drug discovery // *International journal of molecular sciences*. – 2019. – Vol. 20, N 18. – P. 4331.
21. *Ning C. et al.* Efficient multivariate analysis algorithms for longitudinal genome-wide association studies // *Bioinformatics*. – 2019. – Vol. 35, N 23. – P. 4879–4885.
22. *Блатов В.А., Шевченко А.П., Пересыпкина Е.В.* Полуэмпирические расчетные методы квантовой химии. – 2-е изд. – Самара: Универс-групп, 2005. – 32 с.
23. Protein Data Bank. – URL: <http://www.rcsb.org>
24. *Ricard-Blum S.* The collagen family // *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. – 2011. – Vol. 3, N 1. – P. a004978. – DOI: 10.1101/cshperspect.a004978.
25. *Sahi P.K., Giri D.K., Singh R. et al.* Selenium nanoparticles as a potential agent for treating inflammatory bowel diseases // *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. – 2019. – Vol. 107, N 1. – P. 202–215. – DOI: 10.1002/jbm.a.36533.

Bibliography

1. *Shini S., Sultan A., Bryden W.L.* Selenium Biochemistry and Bioavailability: Implications for Animal Agriculture // *Agriculture*. – 2015. – Vol. 5, N 4. – P. 1277–1288. – DOI: 10.3390/agriculture5041277.
2. *Wang J., Um P., Dickerman B.A. et al.* Zinc, Magnesium, Selenium and Depression: A Review of the Evidence, Potential Mechanisms and Implications // *Nutrients*. – 2018. – Vol. 10, N 5. – P. 584. – DOI: 10.3390/nu10050584.

3. *Maret W.* Zinc biochemistry: from a single zinc enzyme to a key element of life // *Biofactors*. – 2013. – Vol. 40, N 1. – P. 27–40. – DOI: 10.1002/biof.1114.
4. *Mazo V.K., Gmshinsky I.V., Shirina L.I.* New food sources of essential antioxidant microelements. – M.: Publishing House «Miklosh», 2009. – 208 p.
5. *Meyer M.* Processing of collagen based biomaterials and the resulting materials properties // *Biomedical Engineering Online*. – 2019. – Vol. 18, N 1. – P. 24.
6. *Wang Y. [et al.]* Advanced functional biocomposites based on collagen nanofibers for high-quality leather processing: a review // *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. – 2021. – Vol. 6, N 2. – P. 153–166.
7. *Shoulders M.D., Raines R.T.* Collagen structure and stability // *Annual Review of Biochemistry*. – 2009. – Vol. 78. – P. 929–958.
8. *Heino J.* The collagen family members as cell adhesion proteins // *Bioessays*. – 2007. – Vol. 29, N 10. – P. 1001–1010.
9. *Sklenarova R. [et al.]* Collagen as a biomaterial for skin and cornea wound healing // *Journal of Functional Biomaterials*. – 2022. – Vol. 13, N 4. – P. 249.
10. *Metzmacher I. [et al.]* In vitro binding of matrix metalloproteinase-2 (MMP-2), MMP-9, and bacterial collagenase on collagen wound dressings // *Wound Repair and Regeneration*. – 2007. – Vol. 15, N 4. – P. 549–555.
11. *Schönfelder U. [et al.]* Influence of selected wound dressings on PMN elastase in chronic wound fluid and their antioxidative potential in vitro // *Biomaterials*. – 2005. – Vol. 26, N 33. – P. 6664–6673.
12. *Dhavalikar P., Maleckis K., Lorenz C. et al.* Review of integrin-targeting biomaterials in tissue engineering // *Advanced Healthcare Materials*. – 2020. – Vol. 9, N 23. – P. 2000795.
13. *Ramachandran K. I., Deepa G., Namboori K.* Computational chemistry and molecular modeling: principles and applications. – Springer Science & Business Media, 2008.
14. *Mironov A.* The role of computer modeling in biochemical research // *Journal of Computer Chemistry*. – 2015. – Vol. 20, N 3. – P. 112–125.
15. *Troshina E.A., Senyushkina E.S.* The role of zinc in processes of synthesis and metabolism of thyroid hormones // *Clinical and experimental thyroidology*. – 2020. – N 3. – P. 25–30.
16. *Zaikina I.V., Komleva N.E., Mikerov A.N.* The role of vitamin D, zinc and selenium in the development of non-infectious diseases (literature review) // *Hygiene and Sanitation*. – 2021. – Vol. 100, N 7. – P. 730–735.
17. *Zhamsaranova S.D., Lygdenov D.V., Sokolov D.V. et al.* Creation of a hypothetical computer model of organic forms of microelements // *ESSUTM Bulletin*. – 2019. – N 3 (74). – P. 26–34.
18. *Tarasova L.V.* The role of selenium, zinc and manganese in the pathogenesis of chronic gastritis and duodenal ulcer // *Medical almanac*. – 2012. – N 2.
19. *Schwarz M. [et al.]* Crosstalk of Nrf2 with the trace elements selenium, iron, zinc, and copper // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, N 9. – P. 2112.
20. *Pinzi L., Rastelli G.* Molecular docking: shifting paradigms in drug discovery // *International journal of molecular sciences*. – 2019. – Vol. 20, N 18. – P. 4331.
21. *Ning C. [et al.]* Efficient multivariate analysis algorithms for longitudinal genome-wide association studies // *Bioinformatics*. – 2019. – Vol. 35, N 23. – P. 4879–4885.
22. *Blatov V.A., Shevchenko A.P., Peresyphkina E.V.* Semi-empirical calculation methods of quantum chemistry. – 2nd ed. – Samara: Publishing house “Univers group”, 2005. – 32 p.
23. Protein Data Bank. – URL: <http://www.rcsb.org>
24. *Ricard-Blum S.* The collagen family // *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. – 2011. – Vol. 3, N 1. – P. a004978. DOI: 10.1101/cshperspect.a004978.
25. *Sahi P.K., Giri D.K., Singh R. et al.* Selenium nanoparticles as a potential agent for treating inflammatory bowel diseases // *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. – 2019. – Vol. 107, N 1. – P. 202–215. – DOI: 10.1002/jbm.a.36533.

DOI 10.53980/24131997_2024_2_55

С.В. Гомбоева, канд. биол. наук, доц., e-mail: sv2@mail.ru

Л.Ю. Прудова, канд. техн. наук, доц., e-mail: prudova456@mail.ru

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

УДК579.69

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКИХ БИОПРЕПАРАТОВ

Приведены результаты общего микробного числа (ОМЧ), морфолого-биохимических методов анализа коммерческих биопрепаратов «Битоксибациллин», «Атлант», «Фитоспорин-М» на соответствие описаниям производителей. Выявлено, что во всех исследуемых коммерческих биопрепаратах отсутствуют патогенные и условно-патогенные микроорганизмы. Количество клеток в препарате «Фитоспорин-М» как в форме порошка, так и пасты составляло $2,8 \times 10^9$ и 3×10^8 КОЕ/г соответственно, что указывает на более высокую жизнеспособность микроорганизмов в препарате-порошке. В биопрепаратах с истекшим сроком хранения «Битоксибациллин» и «Атлант» отмечалось уменьшение титра клеток. В препарате «Атлант» была выделена культура *Bacillus megaterium*, тогда как *Pseudomonas fluorescens*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactococcus lactis* не были обнаружены.

Ключевые слова: биопрепараты, микроорганизмы, культивирование, ферментативная активность, общее микробное число.

S.V. Gomboeva, Cand. Sc. Biology, Associate Prof., e-mail: sv2@mail.ru

L.Yu. Prudova, Cand. Sc. Engineering, Associate Prof., e-mail: prudova456@mail.ru

East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude

MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF COMMERCIAL BIOLOGICAL PRODUCTS

The article outlines the results of the total microbial number (PMF), morphological and biochemical analysis of commercial biological products "Bitoxibacillin", "Atlant", "Phytopsporin-M" for compliance with manufacturers' descriptions. No pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms are found in all studied commercial biological products. The number of cells in 1 g of the product "Phytopsporin-M" in both powder and paste form was 2.8×10^9 CFU/g and 3×10^8 CFU/g, respectively, which indicates a higher viability of microorganisms in the powder preparation. In bioproducts with expired shelf life "Bitoxybacillin" and "Atlant" a decrease in cell titer was observed. *Bacillus megaterium* culture was isolated in the "Atlant" product, whereas *Pseudomonas fluorescens*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactococcus lactis* were not detected.

Key words: biological products, microorganisms, cultivation, enzymatic activity, total microbial count.

Введение

Интенсификация сельского хозяйства, направленная на обеспечение продовольствием населения, сталкивается со множеством проблем. С одной стороны, в соответствии с запросом сельхозпроизводителей, наблюдается рост производства минеральных, органических удобрений, средств защиты растений от вредителей и болезней. С другой – чрезмерное использование удобрений и средств защиты растений негативно влияет на окружающую среду и здоровье людей.

Список пестицидов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, включая биопрепараты, достаточно внушителен: к примеру, по состоянию на март 2024 г. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов насчитывал более 650 препаратов [1]. Использование только химических средств защиты растений и минеральных удобрений не решает проблемы плодородия почвы полностью, негативных факторов при этом тоже достаточно. Недостатком органических и минеральных удобрений является относительно небольшой срок их

действия в связи с разрушением гранул под воздействием различных внешних факторов, переходом действующих веществ в недоступные для растений соединения и наличие экологических проблем.

Как отмечают Р. Mäder и др., «...интенсивные методы ведения сельского хозяйства на основе химических удобрений оказали неблагоприятное воздействие на автохтонные микробные сообщества (в том числе полезные для растений микроорганизмы, обосновавшиеся в ризосфере) и микробное биоразнообразие с одновременным значительным снижением содержания органического вещества и минеральных веществ в почве» [2].

В силу различных природных явлений (засуха, частые проливные дожди, ветер) земля обедняется и растения начинают страдать от нехватки необходимых веществ. Это приводит к замедлению их роста, они перестают плодоносить, повышается вероятность развития болезней, а при выраженной нехватке питательных элементов не исключена гибель полезной растительности.

На территории Бурятии почвенный покров достаточно разнообразен по своему генезису, механическим, биологическим, физическим и химическим свойствам, что в конечном счете характеризует важнейший показатель почвы для развития растениеводства – ее плодородие. Говоря о плодородии почвы, важно учитывать такие показатели, как «...гумусность верхнего слоя почвы и характер изменения ее по профилю, мощность гумусированного слоя, поглотительная способность и буферность, реакция почвенного раствора, наличие элементов питания, а также наличие полезной микрофлоры» [3].

В почве большая часть минеральных и органических соединений растениям недоступна, поскольку находится в нерастворимой форме. А микроорганизмы, действующие путем сложных реакций, постепенно переводят многие соединения в форму, доступную для растений. Таким образом, под воздействием микрофлоры почвы повышается ее плодородие.

Препараты, содержащие эффективные штаммы микроорганизмов, появились на рынке сравнительно недавно, несколько десятилетий назад. Считается, что биопрепараты улучшают плодородие почвы естественным путем, а также помогают при этом культурным растениям получить питательные вещества из почвы. По данным Союза органического земледелия, в реестре средств производства для органического сельского хозяйства на территории РФ на 2018 г. зарегистрированы и разрешены к использованию свыше 40 биологических препаратов для защиты растений от болезней, вредителей и регуляции их роста [4].

По оценкам ученых, биопрепараты не только способны подавлять развитие болезней растений, но и обладают рядом полезных свойств. В монографии Н.Е. Павловской и др. отмечается положительное влияние биопрепаратов на растения и сделан вывод о перспективах их использования как «новом этапе развития сельского хозяйства» [5]. К преимуществам использования биопрепаратов авторы относят способность усиливать устойчивость растений к неблагоприятным условиям (засуха, заморозки), улучшать минеральное питание растений и стимулировать их рост вследствие продуцирования физиологически активных веществ типа витаминов, ауксинов, гиббереллинов. Кроме того, отмечается подавление развития фитопатогенных микроорганизмов и регулирование накопления в растениях вредных соединений: тяжелых металлов, радионуклидов, нитратов и др. [5]. Эти доказанные свойства позволяют развивать производство биоинсектицидов, биофунгицидов, поскольку средства борьбы с вредителями и болезнями плодовых культур – неотъемлемая часть растениеводства, наряду с применением удобрений, причем вопросы отрицательного воздействия на окружающую среду при использовании биопрепаратов снимаются с повестки дня.

Как отмечают Е. Malusà и др., микробиом растений состоит не только из полезных, но и патогенных микроорганизмов. Поэтому важным моментом является судьба вносимых в почву удобрений, содержащих микроорганизмы, их влияние на структуру микробного сообщества, в том числе автохтонных почвенных патогенов. Экологическое поведение интродуцированных микроорганизмов и возможность взаимодействия должны учитываться для оценки риска [6]. В

то же время метаболиты, высвобождаемые из внесенных микроорганизмов, могут стимулировать рост любого микроорганизма из микробиома растения, включая патогены, связанные с растениями [7]. В связи с этим необходимо проводить в полевых условиях и долгосрочные эксперименты по оценке риска биопрепаратов для окружающей среды. Особое значение имеют исследования риска и определение потенциально инвазивных грибов и бактерий, способных выживать в стрессовых условиях [8].

Еще одну проблему для потребителей биопрепаратов представляет их контаминация патогенными или условно-патогенными микроорганизмами. L. Hartmann и др. в 2015 г. опубликовали исследования по выделению, очищению и идентификации микроорганизмов, содержащихся в европейских коммерческих инокулянтах, которые показали, что около 64 % продуктов имели одну или несколько посторонних штаммов и только 37 % продуктов – «чистые» культуры, 40 % протестированных продуктов не содержали ни одного из заявленных штаммов, а только посторонние штаммы [9]. На основании полученных данных было предложено совершенствование систем контроля с целью получения действительно эффективных биопрепаратов, используемых для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. В случае контаминации растений и их плодов биопрепаратами, содержащими патогенные или условно-патогенные микроорганизмы, возможны негативные последствия для потребителя. Нельзя забывать о том, что болезнетворные бактерии и грибы могут сохранять жизнеспособность при определенных условиях длительное время.

Цель исследования – провести микробиологический анализ доступных потребителям коммерческих биопрепаратов на соответствие описанию производителей и отсутствие посторонней микрофлоры.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования были выбраны четыре биопрепарата, наиболее популярные у потребителей. Препараты имели разные даты выпуска, два из них на момент изучения оказались с истекшим сроком годности. В то же время они представляли интерес для оценки по выживаемости культур при хранении. Характеристика изученных биопрепаратов, проанализированная исходя из данных от производителей, размещенных на упаковках, представлена в таблице 1.

Таблица 1

Общая характеристика биопрепаратов (по инструкциям производителей)

№	Наименование	Назначение	Заявленный состав	Дата производства	Годность препарата
1	2	3	4	5	6
1	Битоксибациллин	Воздействует на широкий спектр вредителей: от паутиного клеща до листогрызущих гусениц. Репеллентное действие – отпугивает бабочек от обработанного участка в период яйцекладки, быстро разлагается, можно применять за 5 дней до сбора урожая. Обладает инсектоакарицидными свойствами	<i>Bacillus thuringiensis</i> , БА-1500 ЕА/мг. В 1 г препарата содержится не менее 45 млн спор бактерий	07.2020	1,5 года
2	Атлант	Оздоровливает почву, повышает плодородие, искореняет и подавляет вредную патогенную микрофлору, позволяет получить здоровые сильные растения и экологически безопасный, полезный для здоровья урожай	Титр живых клеток <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Azotobacter chroococum</i> , <i>Lactococcus lactis</i> общим титром не менее $1,0 \times 10^9$ КОЕ/см ³ , вспомогательные вещества	01.2021	2 года

1	2	3	4	5	6
3	Фитоспорин-М (порошок)	Содержит большее количество бактерий, чем паста, и помогает бороться с болезнями, особенно на начальных стадиях	<i>Bacillus subtilis</i> штамм 26Д, не менее 2 млрд клеток / 1 г. Порошок содержит стимулятор роста Гуми, включающий более 90 видов минералов и микроэлементов	01.06.2020	4 года
4	Фитоспорин-М (паста)	Используется для профилактических целей: стимуляции и защиты	<i>Bacillus subtilis</i> штамм 26 Д, не менее 100 млн. клеток / 1 г	02.09.2021	4 года

Микробиологический анализ осуществляли по общепринятым методикам. При проведении исследований были использованы следующие питательные среды: мясопептонный агар – МПА (для выявления общего микробного числа), Сабуро (для культивирования дрожжей и плесневых грибов), Левина (для культивирования энтеробактерий), Плоскирева (для выделения микроорганизмов рода *Salmonella* и *Shigella*), Кесслера (для выявления бактерий группы кишечной палочки). Посевы проводили методом Дригальского. Культивирование, в зависимости от видовой принадлежности изучаемых микроорганизмов, проводили при температурах 37 и 28 °С.

Число клеток микроорганизмов определяли методом глубинного посева на плотные среды (чашечный метод). Для изучения морфологии выделенных микроорганизмов (форма клеток, ультраструктура клеточной стенки, выявление спор) готовили препараты и окрашивали их по Граму, Трухильо. Для выявления биохимических показателей выделенных микроорганизмов были использованы питательные среды Гисса с разными углеводами (глюкоза, сахароза, мальтоза, лактоза, манноза, маннит, сорбит). Для изучения биохимических свойств выделенных микроорганизмов определяли их ферментативную активность. При изучении сахаролитических ферментов, выделяемых микроорганизмами, учитывали не только явление расщепления сахаров по кислотообразованию, но и глубину ферментативного процесса по количеству в питательной среде газообразующих продуктов расщепления. Определение протеолитической активности микроорганизмов производили посевом (уколом) в столбик питательной среды с желатиной. После инкубирования отмечали разжижение питательной среды. Амилолитическую активность определяли посевом на крахмальный агар, отмечали зоны просветления и изменение цвета при окрашивании йодом. Антибиотическую активность определяли диско-диффузионным методом [10–12]. Все исследования были проведены в трех повторностях, статистически обработаны по общепринятым методикам [13].

Результаты исследования и их обсуждение

Биопрепараты «Атлант», «Битоксибациллин» и «Фитоспорин-М» (в двух формах: паста и порошок) по внешнему виду соответствовали описаниям в инструкциях производителей. Препараты «Атлант» и «Битоксибациллин» были с истекшим сроком годности, что позволило получить результаты по выживаемости и активности микроорганизмов. Были проведены исследования на определение общего микробного числа биопрепаратов и обнаружение посторонних и патогенных микроорганизмов в трех повторностях. Результаты средних значений представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что в исследуемых биопрепаратах отсутствовали патогенные микроорганизмы, а также плесневые грибы и дрожжи. По общему количеству микроорганизмов результаты исследования показали, что у биопрепаратов «Битоксибациллин» и «Атлант», име-

ющих истекший срок годности, титр клеток снизился до $3,3 \times 10^7$ и до 5×10^8 КОЕ/г соответственно, тогда как у биопрепаратов «Фитоспорин М» (порошок) и «Фитоспорин-М» (паста) титр клеток соответствовал показателям, заявленным производителями.

Таблица 2

Результаты посева биопрепаратов на питательные среды

№	Биопрепарат	Питательная среда, КОЕ/г				
		МПА	Сабуро	Плоскирева	Левина	Кесслера
1	Битоксибациллин	$3,3 \times 10^7$	–	–	–	–
2	Атлант	5×10^8	–	–	–	–
3	Фитоспорин-М (порошок)	$2,8 \times 10^9$	–	–	–	–
4	Фитоспорин-М (паста)	$1,3 \times 10^8$	–	–	–	–

Примечание. «-» – отсутствие роста микроорганизмов.

Для определения соответствия микробного состава препаратов были проведены морфологические и биохимические анализы, которые позволили идентифицировать заявленные производителями микроорганизмы.

Биопрепарат «Битоксибациллин». На питательной среде МПА выросли колонии, которые по морфологическим характеристикам соответствовали друг другу, но различались цветом: одна группа колоний имела серовато-белый цвет, а другая серовато-кремовый с прозрачными краями. Данные группы были пронумерованы I и II соответственно. Различие цвета колоний может быть обусловлено возрастными характеристиками: колонии через 24 ч инкубации образовывали округлые серовато-белые колонии, а через 3–5 сут колонии становились серовато-кофейного цвета, что подтверждается литературным источником [14]. При микрокопировании препаратов, выделенных из двух колоний, были обнаружены грамположительные спорообразующие бактерии палочковидной формы, что соответствовало описанию бактерий *Bacillus thuringiensis*, которые входят в состав препарата «Битоксибациллин». Для идентификации выделенных культур микроорганизмов двух групп колоний (I и II) использовали биохимические методы анализа, результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Биохимические свойства микроорганизмов, выделенных из препарата «Битоксибациллин»

Свойство	Группа колоний I	Группа колоний II
Отношение к углеводу:		
глюкоза	+	+
лактоза	-	-
мальтоза	+	+
манноза	+	+
сахароза	+	+
сорбит	-	-
Протеолитическая активность	+	+
Амилазная активность	+	+
Уреазная активность	-	-
Рост на МПБ	Наблюдается помутнение, образование вуали	Наблюдается помутнение, образование вуали

Примечание. «+» – положительная реакция, «-» – отрицательная реакция.

По результатам, представленным в таблице 3, и в соответствии с литературными источниками изученные колонии микроорганизмов можно было охарактеризовать как бактерии *Bacillus thuringiensis*. Для бактерий *B. thuringiensis* характерен бактерицидный и бактериостатический эффект δ-эндотоксинов в отношении энтеробактерий *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, а также стафилококков – *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus epidermidis* [10], поэтому был проведен анализ совместного культивирования выделенных культур с *E. Coli M17*. В результате

экспериментов были обнаружены зоны отсутствия роста *E. Coli* M17 2±0,1 см, что доказало бактерицидный эффект выделенных культур по отношению к энтеробактериям.

Обобщая результаты исследований, сделали вывод, что в препарате «Битоксибациллин» присутствовала монокультура, соответствующая бактерии *Bacillus thuringiensis*.

Биопрепарат «Атлант» по заявлению производителя содержал живые клетки *Bacillus megaterium*, *Azotobacter chroococum*, *Pseudomonas fluorescens*, *Lactococcus lactis*. Посев на МПА показал наличие плоских, непрозрачных, грязно-белого цвета колоний с влажной поверхностью, волнистыми краями. При микроскопировании наблюдали грамположительные, спорообразующие палочки, расположенные одиночно или в парах, что характерно морфологическим признакам *Bacillus megaterium*. Отсутствие заявленных производителем культур *Lactococcus lactis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azotobacter chroococum*, возможно, было связано с истекшим сроком годности биопрепарата. Результаты исследований биохимических характеристик выделенной на МПА культуры представлены в таблице 4. Сравнивая изученные свойства выделенных микроорганизмов с литературными данными, можно сделать вывод о присутствии в биопрепарате «Атлант» бактерий *Bacillus megaterium*.

Таблица 4

Биохимические свойства выделенных микроорганизмов из препарата «Атлант»

Свойство	Выделенная культура
Отношение к углеводу:	
глюкоза	+
лактоза	-
мальтоза	+
манноза	-
сахароза	+
сорбит	-
Протеолитическая активность	+
Каталазная активность	+
Амилазная активность	+
Уреазная активность	-
Посев на МПБ со стерильной фильтровальной бумагой, пропитанной нитратом азота	-
Образование индола	-
Образование сероводорода	-
Свертываемость молока	отсутствует

Примечание. «+» – положительная реакция, «-» – отрицательная реакция.

Биологическое средство защиты от грибковых и бактериальных болезней растений «Фитоспорин-М». Независимо от образца исследования (порошок или паста) на МПА выросли одинаковые по морфологии колонии светло-бежевого цвета, слегка складчатые с волнистыми краями. При микроскопировании были выявлены грамположительные, спорообразующие палочки, что соответствовало культуре *Bacillus subtilis*. Результаты биохимического анализа выделенной культуры микроорганизмов представлены в таблице 5.

Таблица 5

Биохимические свойства выделенных микроорганизмов из препарата «Фитоспорин-М»

Свойство	Выделенная культура (препарат-порошок)	Выделенная культура (препарат-паста)
1	2	3
Отношение к углеводу:		
глюкоза	+	+
лактоза	-	-
мальтоза	+	+
маннит	-	-
сахароза	+	+
сорбит	-	-

1	2	3
Протеолитическая активность	+	+
Каталазная активность	+	+
Амилазная активность	+	+
Уреазная активность	-	-
Рост на МПБ	Помутнение жидкой среды, наличие хлопьевидного осадка	
Образование индола	-	-
Образование сероводорода	+	+

Примечание. «+» – положительная реакция, «-» – отрицательная реакция (без признаков роста).

Чистую культуру предположительно *Bacillus subtilis*, выделенную из препаратов «Фитоспорин-М», изучали на наличие устойчивости к антибиотикам. Были использованы следующие антибиотики: тетрациклин, ампициллин, стрептомицин. Результаты показали, что культура чувствительна к тетрациклину, гентамицину, малочувствительна к стрептомицину, более высокая устойчивость наблюдалась к ампициллину. Согласно полученным данным таблицы 5 и результатам антибиотической активности, сделали вывод, что биопрепарат «Фитоспорин-М» содержит бактерию *Bacillus subtilis* и соответствует описанию производителя.

Заключение

В последние годы активно развивается новый метод защиты сельскохозяйственных культур, основанный на применении биопрепаратов, содержащих живые микроорганизмы. Подбор культур для этих целей осуществляется по двум критериям: они не должны быть патогенными для растений и человека, но должны подавлять фитопатогенные грибы, вызывающие болезни растений, или являться энтомопатогенами в отношении вредителей садовых (овощных) культур. Многочисленные исследования по влиянию биопрепаратов на различные виды растений и почву [16–18] доказывают их высокую эффективность в борьбе с фитопатогенами и увеличении урожайности культур.

Экспериментально было доказано отсутствие патогенной микрофлоры (дрожжей, плесневых грибов, бактерий группы кишечной палочки, энтеробактерий, микроорганизмов рода *Salmonella* и *Shigella*) в биопрепаратах «Атлант», «Битоксибациллин» и «Фитоспорин-М». В связи с этим изученные биопрепараты не представляли опасности для человека и соответствовали заявленному производителем составу по наличию микроорганизмов.

По общему количеству микроорганизмов результаты исследования показали, что у биопрепаратов «Битоксибациллин» и «Атлант», имеющих истекший срок годности, титр клеток снизился до $3,3 \times 10^7$ и до 5×10^8 КОЕ/г соответственно. В биопрепаратах «Фитоспорин-М» общий титр микроорганизмов соответствовал заявленному на упаковках.

Биопрепарат «Атлант», согласно проведенным исследованиям, не содержал указанные производителем *Lactococcus lactis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azotobacter chroococcum*, возможно, из-за истекшего срока хранения.

Стоит отметить, что для того, чтобы вышеперечисленные средства были эффективными, необходимо соблюдать условия и срок хранения. Таким образом, проведенные исследования показали, что биопрепараты содержат полезные микроорганизмы и могут положительно влиять на фитосанитарное состояние растений и почвы, благотворно воздействовать на рост овощных и садовых культур и данное исследование будет востребовано при дальнейшей разработке биопрепаратов на основе новых симбиозов микроорганизмов.

Библиография

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, по состоянию на 01 марта 2024 г. // Министерство сельского хозяйства

Российской Федерации. – URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-pogosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov> (дата обращения: 29.04.2024).

2. *Mäder P., Fließbach A., Dubois D. et al.* Soil fertility and biodiversity in organic farming // *Science*, 2002. – N 296 (5537). – P. 1694–1697. – URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1071148> (дата обращения: 09.01.2024).

3. Промышленный портал Оренбургской области: офиц. сайт – г. Оренбург, 2024. – URL: <https://agro-portal.su/zemledelie-buryatii/2379-pochvenno-klimaticheskie-usloviya-buryatii.html> (дата обращения: 09.01.2024).

4. Союз органического земледелия в России: офиц. сайт – г. Москва, 2024. – URL: <https://soz.bio/soz-predstavil-reestr-sredstv-proizvodstva-dlya-organicheskogo-proizvodstva> (дата обращения: 09.01.2024).

5. *Павловская Н.Е., Гагарина И.Н., Бородин Д.Б. и др.* Агробиологическое обоснование технологии выращивания овощной продукции с применением биологических средств защиты: монография. – Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2018. – 160 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/118771> (дата обращения: 07.01.2024).

6. *Malusà E., Berg G., Biere A. et al.* A holistic approach for enhancing the efficacy of soil microbial inoculants in agriculture: from lab to field scale // *Global Journal of Agricultural Innovation, Research & Development*, 2021. – Vol. 8. – P. 176–190. – DOI: 10.15377/2409-9813.2021.08.14.

7. *Berg G., Eberl L., Hartmann A.* The rhizosphere as a reservoir for opportunistic human pathogenic bacteria // *Environmental Microbiology*. – 2005. – Vol. 7, Iss. 11. – P. 1673–1685.

8. *Vassilev N., Eichler-Löbermann B., Vassileva M.* Stress-tolerant P-solubilizing microorganisms // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2012. – N 95. – P. 851–859.

9. *Herrmann L., Atieno M., Bräu L. et al.* Microbiological Quality of Commercial Inoculants to Improve BNF and Nutrient Use Efficiency // *Biological nitrogen fixation*. – 2015. – P. 1031–1040.

10. *Хоулт Дж., Круг Н.* Определитель бактерий Берджи. – М.: Изд-во «Мир», 1997. – 368 с.

11. *Гомбоева С.В., Цыренов В. Ж., Захаров Е.В. и др.* Идентификация и исследование микроорганизмов, выделенных из коммерческих биопрепаратов «Байкал ЭМ-1» и «БИЭМ», способных элиминировать липидные, белковые и углеводсодержащие компоненты сточных вод // *Вестник ВСГУТУ*. – 2018. – № 4. – С. 113–120.

12. *Полыгалкина Г.В., Чередниченко В.С., Римарева Л.В.* Определение активности ферментов: справочник. – М.: Де Ли принт, 2005. – 375 с.

13. *Грачёв Ю.П., Плаксин Ю.М.* Математические методы планирования экспериментов: учеб. пособие для вузов. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 294 с.

14. Патент RU2033721C1. Штамм бактерий *Bacillus thuringiensis var kurstaki* для получения биоинсектицида. / Шевцов Е.В., Щелокова С.К., Жиглецова В.В. Патентообладатели: Малое государственное предприятие «Биотехнологический внедренческий центр» Заявка SU915014489A, заявл. 10.10.1991, опубл. 30.04.1995. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2033721C1/ru>

15. *Трейвас Л.Ю.* Защита плодовых, огородных и декоративных растений от болезней и вредителей. Атлас-определитель. – М.: Фитон XXI, 2016 – 160 с.

16. *Пыркин В.О., Хачаева С.А., Дидович С.В. и др.* Влияние комплексных биопрепаратов на почвенный микробиом // *Таврический вестник аграрной науки*. – 2018. – № 2. – С. 35–45. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/309898> (дата обращения: 08.01.2024).

17. *Гнеушева И.А., Солохина И.Ю.* Оценка антифунгальных и ростостимулирующих свойств биопрепаратов на основе природных компонентов // *Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2020. – № 99. – С. 31–39.

18. *Абрамова А.А., Шаймуллина Г.Х.* Оценка количественных изменений в микробиоме почвы и растений яровой пшеницы на ранних стадиях ее развития при обработке биопрепаратами в полевых опытах 2020 и 2021 годов // *Агробиотехнологии и цифровое земледелие*. – 2022. – № 3 (3). – С. 6–1.

Bibliography

1. State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation as of March 1, 2024 // Ministry of Agriculture of the Russian Federation. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov> (date of access: 04/29/2024).
2. *Mäder P., Fließbach A., Dubois D. et al.* Soil fertility and biodiversity in organic farming // *Science*. – 2002. – N 296 (5537). – P. 1694–1697.
3. Industrial portal of the Orenburg region: official. website – Orenburg, 2024. – URL: <https://agroportal.su/zemledelie-buryatii/2379-pochvenno-klimaticheskie-usloviya-buryatii.html> (access date: 01/09/2024).
4. Union of Organic Farming in Russia: official. website – M., 2024. – URL: <https://soz.bio/soz-predstavil-reestr-sredstv-proizvodstva-dlya-organicheskogo-proizvodstva> (access date: 01/09/2024).
5. *Pavlovskaya N.E., Gagarina I.N., Borodin D.B. et al.* Agrobiological substantiation of the technology of growing vegetable products using biological means of protection: monograph. – Orel: OrelGAU, 2018. – 160 p. – URL: <https://e.lanbook.com/book/118771> (access date: 01/07/2024).
6. *Malusà E., Berg G., Biere A. et al.* A holistic approach for enhancing the efficacy of soil microbial inoculants in agriculture: from lab to field scale // *Global Journal of Agricultural Innovation, Research & Development*. – 2021. – Vol. 8. – P. 176–190. – DOI: 10.15377/2409-9813.2021.08.14.
7. *Berg G., Eberl L., Hartmann A.* The rhizosphere as a reservoir for opportunistic human pathogenic bacteria // *Environmental Microbiology*. – 2005. – Vol. 7, Iss. 11. – P. 1673–1685.
8. *Vassilev N., Eichler-Löbermann B. et al.* Stress-tolerant P-solubilizing microorganisms // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2012. – N 95. – P. 851–859.
9. *Herrmann L., Atieno M., Bräu L. et al.* Microbiological Quality of Commercial Inoculants to Improve BNF and Nutrient Use Efficiency // *Biological nitrogen fixation*. – 2015. – P. 1031-1040.
10. *Hoult J., Krieg N.* Identifier of Burgee’s bacteria. – M.: Publishing House “Mir”, 1997. – 368 p.
11. *Gomboeva S.V., Tsyrenov V.Zh. et al.* Identification and study of microorganisms isolated from commercial biological products “Baikal EM-1” and “BIEM”, capable of eliminating lipid, protein and carbohydrate-containing components of wastewater // *ESSUTM Bulletin*. – 2018. – N 4. – P. 113–120.
12. *Polygalina G.V., Cherednichenko V.S., Rimareva L.V.* Determination of enzyme activity: reference. – M.: De Li print, 2005. – 375 p.
13. *Grachyov Yu.P., Plaksin Yu.M.* Mathematical methods for planning experiments: Textbook. manual for universities. – M.: DeLi print, 2005. – 294 p.
14. Patent RU2033721C1. Bacterial strain *Bacillus thuringiensis* var *kurstaki* for the production of bio-insecticide / *Shevtsov E.V., Shchelokova S.K., Zhigletsova V.V.* Patent holders: Small State Enterprise "Biotechnological Implementation Center Application SU915014489A, application 10.10.1991, published 30.04.1995. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2033721C1/ru>.
15. *Treyvas L.Yu.* Protection of fruit, garden and ornamental plants from diseases and pests. Atlas-determinant. – M.: Fiton XXI, 2016 – 160 p.
16. *Pyrkin V.O., Khapchaeva S.A., Didovich S.V. et al.* The influence of complex biological products on the soil microbiome // *Tauride Bulletin of Agrarian Science*. – 2018. – N 2. – P. 35–45. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/309898> (date of access: 01/08/2024).
17. *Gneusheva I.A., Solokhina I.Yu.* Assessment of antifungal and growth-stimulating properties of biological products based on natural components // *Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy*. – 2020. – N 99. – P. 31–39.
18. *Abramova A.A., Shaimullina G.Kh.* Assessment of quantitative changes in the microbiome of soil and spring wheat plants at the early stages of its development when treated with biological products in field experiments in 2020 and 2021 // *Agrobiotechnologies and digital agriculture*. – 2022. – N 3 (3). – P. 6–1.

**4.3.1 – ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

DOI 10.53980/24131997_2024_2_64

В.А. Грибкова, канд. техн. наук, доц., e-mail: vera_gribkova@list.ru

Е.В. Семёнов, д-р. техн. наук, проф., e-mail: sem-post@mail.ru

А.А. Славянский, д-р. техн. наук, проф., e-mail: a.slavyanskiy@mgutm.ru

Н.В. Николаева, канд. техн. наук, доц., e-mail: n.nikolaeva@mgutm.ru

Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского
(Первый казачий университет), г. Москва

УДК 66-965

КЛАССИФИКАЦИЯ СЫПУЧЕЙ СМЕСИ В ПНЕВМОСЕПАРАТОРЕ

В работе проанализирована выявленная проблема классификации измельченных веществ при производстве продовольственных продуктов высокого потребительского качества. Наличие данной проблемы во многом обусловлено отсутствием аналитического аппарата при расчете режимных параметров эксплуатации оборудования при их обработке.

Вместе с этим авторы предлагают физико-математическую модель, максимально приближенную к описанию реального механического процесса при количественном анализе протекания классификации измельченных смесей. В процессе исследования количественного моделирования процесса разделения смеси частиц в рабочем объеме пневмосепаратора было показано, что полученные данные находятся в согласии с физическим смыслом исследуемого процесса и, соответственно, установлена возможность классификации сыпучих смесей на базе пневмосепаратора.

Ключевые слова: *измельченные материалы, классификация смесей, процесс разделения смесей, пневмосепарирование.*

V.A. Gribkova, Cand. Sc. Engineering, Associate Prof.

E.V. Semyonov, Dr. Sc. Engineering, Prof.

A.A. Slavyansky, Dr. Sc. Engineering, Prof.

N.V. Nikolaeva, Cand. Sc. Engineering, Associate Prof.

K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management
(the First Cossack University), Moscow

CLASSIFICATION OF LOOSE MIXTURE IN PNEUMATIC SEPARATOR

The paper analyzes classification of crushed substances in high quality food production. The problem in the focus is the lack of analytical apparatus for calculating operating parameters of equipment for food processing.

At the same time, the authors propose physical and mathematical model of maximum close to description of real mechanical process in quantitative analysis of crushed mixture classification. The article studies quantitative modeling of separation particle mixtures process in working volume of a pneumatic separator. The data obtained correspond to physical meaning of process under study and, accordingly, it established possibility of loose mixtures classifying based on pneumatic separator.

Key words: *crushed materials, classification of mixtures, process of mixtures separation, pneumatic separation.*

Введение

В различных отраслях и технологических процессах пищевой промышленности, как и в других областях народного хозяйства, широко практикуют использование в качестве сырья и

полуфабрикатов его переработки их измельчение с последующим фракционированием по размерному принципу. Это обусловлено тем, что соответствующие технологические операции позволяют улучшить качество вырабатываемой продукции как растительного, так и животного происхождения. К ним, например, можно отнести кристаллический белый сахар или сахаристые вещества, крахмал, мука, молочный и яичный порошки, а также целый ряд другой продукции.

Вместе с тем насущные проблемы практической реализации фракционирования порошкообразных смесей во многом обусловлены отсутствием соответствующего аналитического аппарата. Особенно это касается расчетов режимных параметров оборудования с целью реализации на их основе классификации соответствующих сыпучих смесей. Поэтому очевидна необходимость разработки расчетной модели этого процесса, максимально приближенного к реальным условиям его проведения, т. е. разработка физико-химической модели количественной классификации измельченных до порошковых смей продуктов высокого потребительского качества [1–4]. При этом в основу исследований были положены эксперименты по классификации смесей с использованием пневмосепаратора. Использование аэродинамики для разделения смесей на фракции по удельному весу является на данный момент технологически эффективным процессом и может использоваться, в том числе, для качественного фракционирования сухих пищевых смесей различного состава. Несмотря на то что в настоящее время наиболее часто на предприятиях пищевой промышленности для этих целей применяется ситовое разделение, возможность использования пневмосепараторов дает ряд преимуществ:

- безрешетная, т. е. бесконтактная аэродинамическая, технология исключает травмирование во время сепарации хрупких частиц продукта (например, кристаллов сахара) в потоке воздуха;

- в пневмосепараторах применены простые конструкторские решения, в том числе отсутствие смазываемых деталей и сложных механизмов, облегчает их техническое обслуживание, способствует высокой надежности и долгому сроку службы;

- пневмосепаратор обладает настраиваемыми параметрами (регулирование скорости потока воздуха, интенсивность вибрации и др.) в зависимости от требуемой степени разделения, позволяя достичь оптимальных результатов обработки для каждого типа смеси, что гарантирует высокую эффективность обработки и минимизацию потерь.

Поэтому данный метод находит широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности (молочной, мясной, парфюмерно-косметической, крахмало-паточной, спиртовой и др.).

Предварительно для осуществления этого процесса была отобрана фракция из частиц оговоренного размера и уточнены данные по фракционному составу частиц измельченного продукта. При этом отработана методика количественной и качественной оценки измельченного с этой целью продукта.

Определяющей **целью работы** явилась разработка математической модели процесса классификации измельченных смесей (порошков) на основе пневмосепаратора.

Материалы и методы исследования

На рисунке 1 приведено схематичное изображение поведения частиц различного размера в воздушном потоке пневмосепаратора.

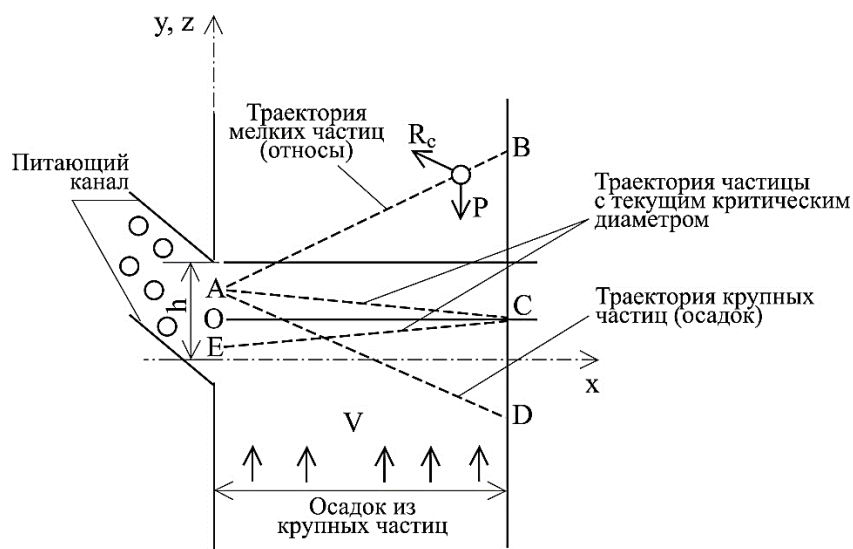


Рисунок 1 – Схематическое изображение поведения частиц различных размеров под действием воздушного потока пневмосепаратора

Анализ кинематики частицы

Стадия разделения измельченной смеси зависит от большого количества разнообразных факторов, влияющих на данный процесс. Поэтому, прежде чем начать моделировать данный процесс, необходимо схематизировать его протекание.

С этой точки зрения принимают, что после предварительного перемешивания смеси, частицы всех размеров имеют форму близкую к шарообразной. Причем объемная концентрация таких частиц в воздушном потоке сепаратора невысокая. Поэтому допускается, что они не оказывают влияния на движение друг друга. То есть кинематика движения частицы не зависит от воздействия на нее соседних частиц. Принимается также, что в пневмосепараторе наблюдается одномерный поток с распределением скорости воздуха по поперечному сечению, близкому к его расходной скорости. Такая схема позволяет рассчитывать перемещение частиц вещества в системе координат воздушного потока.

В соответствии с данными условиями принимается, что на частицу вещества действуют два наиболее значимых по величине силовых фактора, а именно сила тяжести P и сила сопротивления R_c (рис. 1). В соответствии с основным законом динамики получают уравнение конкретного их воздействия в определенной точке

$$m \frac{dU}{dt} = P + R_c, \quad (1)$$

где m – масса частицы, кг; $U = \{U_x, U_y\}$ – вектор скорости частицы; t – время, с; $P = \{0, -mg\}$ – вектор силы тяжести, $R_c = -3\pi\mu\delta(U - V)$ – сила сопротивления Стокса, Н; g – ускорение свободного падения, м/с², δ – диаметр частицы, м; μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с; $V = \{0, V\}$, V – скорость несущего потока воздуха, $V > 0$, м/с.

При условии расположения начала системы координат (точка O) в нижней части питающего канала пневмосепаратора (рис. 1), при начале движения частицы вещества из точки $A(0, z)$ для нее принимают условия

$$\begin{cases} x = 0, y = z \text{ при } t = 0, \\ U_{x0} = U_0 \cos \alpha, \\ U_{y0} = -U_0 \sin \alpha \text{ при } t = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где U_0 – скорость частицы; α – угол наклона вектора скорости частицы к оси x на выходе из питающего канала (данные величины на рисунке 1 не показаны).

В этом случае начальное уравнение (1) в отраженных проекциях системы координат x, y имеет вид:

$$\frac{dU_x}{dt} = -kU_x; \tag{4}$$

$$\frac{dU_y}{dt} = -g - k(U_y - V), \tag{5}$$

где

$$k = 18\mu / (\rho_1 \delta^2), \tag{6}$$

где ρ_1 – плотность частицы, кг/м³.

При приведении обобщенного решения системы (4), (5) к условиям, отраженным в (3), приходят к системе частного решения:

$$U_x = U_{x0} \exp(-kt); \tag{7}$$

$$U_y = [(g + kw_0) \exp(-kt) - g] / k + V, \tag{8}$$

где обозначено $w_0 = U_{y0} - V$.

Если проекции U_x, U_y скоростей движения точки выразить через ее координаты, то на основе (7), (8) приходят к системе дифференциальных уравнений по x и y

$$\frac{dx}{dt} = U_{x0} \exp(-kt);$$

$$\frac{dy}{dt} = [(g + kw_0) \exp(-kt) - g] / k + V,$$

частным решением которой в соответствии с (2) является

$$x = U_{x0} [1 - \exp(-kt)] / k; \tag{9}$$

$$y = (g + kw_0) [1 - \exp(-kt)] / k^2 + (V - g/k)t + z, \tag{10}$$

где t можно выразить как

$$t = -\frac{\ln(1 - \frac{kL}{U_{x0}})}{k}$$

и, используя его затем в (10), получить уравнение траектории точки.

При выражении y как функции от x , как показано в (9) и (10), можно просчитать уравнение траектории частицы AC , которое показывает свою связь с критическим диаметром ($\delta = \delta_k$) через k из уравнения (6):

$$y = (g + kw_0)x / (kU_{x0}) + (g/k - V) \ln(1 - kx/U_{x0}) / k + z. \tag{11}$$

При этом если частица движется по текущей (произвольной) траектории AC согласно (11), то ее уравнение имеет вид

$$\Phi(\delta, z, V, U_{x0}) = 0, \tag{12}$$

где

$$\Phi(\delta, z, V, U_{x0}) = (g + kw_0)L / (kU_{x0}) + (g/k - V) \ln(1 - kL/U_{x0}) / k + z = 0. \tag{13}$$

Также Φ целесообразно определять в системе Mathcad [5], где она имеет вид

$$\delta(z) = \Phi^{-1}(\delta, z, V, U_{x0}). \tag{14}$$

В соответствии с (14) величина $\delta(z)$ показывает, что при одинаковых начальных условиях перемещаясь по стандартной траектории AC частицы вещества с размером $\delta' > \delta$ быстрее достигнут поверхности осадка, в то время как частицы вещества с размером $\delta' < \delta$ остаются в общем объеме фугата.

В частности, величина $\delta_k = \delta_k(z = h)$, называемая глобальным критическим диаметром, играет в дальнейшем важную роль в расчетах процесса классификации частиц смеси.

Постановка задачи

Для расчета фракционирования частиц по размеру используется функция

$$F(\delta) = \frac{n(\delta \leq \delta')}{n_0}, \quad (15)$$

где $n(\delta \leq \delta')$ – число частиц размером меньше δ' в первоначальном объеме; n_0 – общее число частиц всех размеров в первоначальном объеме.

Таким образом, в исследовании необходимо определить количество частиц, размер которых соответствует $\delta \in [\delta_3, \delta_4]$, $\delta_3 < \delta_4$, при этом учитывая относительное содержание частиц в объеме, вычисляемое уравнением

$$\frac{n(\delta' \leq \delta \leq \delta'')}{n_0} = F(\delta'') - F(\delta').$$

Данную задачу можно вычислить по δ_k (текущий критический диаметр) (14) и ε (коэффициент уноса) (16).

$$\varepsilon = \frac{1}{h} \int_0^h F(\delta(z)) dz, \quad (16)$$

в котором верно соотношение $\varepsilon + \eta = 1$, $\delta = \delta(z)$, где η – коэффициент осветления.

Результаты исследования и их обсуждение

Пример проведения расчета процесса классификации частиц

Пусть исходная полидисперсная смесь частиц (по соглашению) характеризуется счетной функцией распределения кусочно-линейного вида

$$F_0(\delta) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq \delta \leq \delta_1, \\ (\delta - \delta_1)/(\delta_2 - \delta_1) & \text{при } \delta_1 < \delta < \delta_2, \\ 1 & \text{при } \delta \geq \delta_2, \end{cases} \quad (17)$$

где δ_1 – минимальный размер частиц в смеси (0,1 мм), δ_2 – максимальный размер частиц в смеси (1 мм), что по составу фракций довольно близко к составу кристаллического белого сахара по завершении центрифугирования утфеля.

Необходимо в соответствии с требованием расчета из заданной по (15), (17) смеси выделить скопление частиц размером от $\delta_3 = 0,5$ до $\delta_4 = 0,8$ мм при двукратной обработке смеси в пневмосепарирующем оборудовании.

При этом в качестве интегративного показателя эффективности процесса классификации на первом этапе обработки в соответствии с (16) принимается коэффициент уноса

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{h} \int_0^h F_0(\delta(z)) dz, \quad (18)$$

где $F_0(\delta)$ задано по (17).

Геометрический смысл формулы (18) состоит в том, что величина $\varepsilon_1 = n_1/n_0$ является отношением количества мелких, отходящих в отходы в результате обработки в пневмосепараторе, частиц n_1 к их общему n_0 количеству в исходной смеси с функцией распределения (17).

В соответствии со схемой поведения частиц под действием воздушного потока (рис. 1) для естественного разделения частиц по крупности основными управляющими параметрами могут быть V (скорость несущего воздушного потока) и V_0 (скорость подачи частиц при выходе из питающего канала). При изменении одного из этих параметров (при фиксированном другом), из уравнения (14) можно определить так называемый глобальный критический диаметр δ_r , равный (или близкий) по величине значению δ_4 , что, согласно концепции глобального критического диаметра (а это является условием схода частицы из питающего канала с высоты $z = h$), в процессе обработки смеси в пневмосепараторе гарантирует по расчету осаждение крупных частиц из смеси в нижней части объема прибора (рис. 1).

В качестве геометрических и кинематических характеристик параметров процесса классификации на пневмосепараторе принимали: толщину питающего канала $h = 12$ мм, расстояние между стенками прибора $L = 10$ мм, скорость подачи частиц в сепарирующий канал $V_0 = 0,4$;

0,5; 0,6 м/с; скорость несущего воздушного потока $V = 1-13$ м/с, угол наклона питающего канала к горизонтальной оси $\alpha = -\pi/4$; плотность воздуха и твердых частиц (сахарозы) соответственно $\rho = 1,3$ и $\rho_1 = 1560$ кг/м³; динамическая вязкость воздуха $\mu = 18 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

Предварительно по ходу проведения процесса на основе (14) рассчитывают имеющую базовое значение в теории сепарирования величину, а именно текущий критический диаметр частицы как функцию скорости несущего воздушного потока V и параметрической зависимости от скорости подачи частиц в сепарирующий канал V_0 (рис. 2).

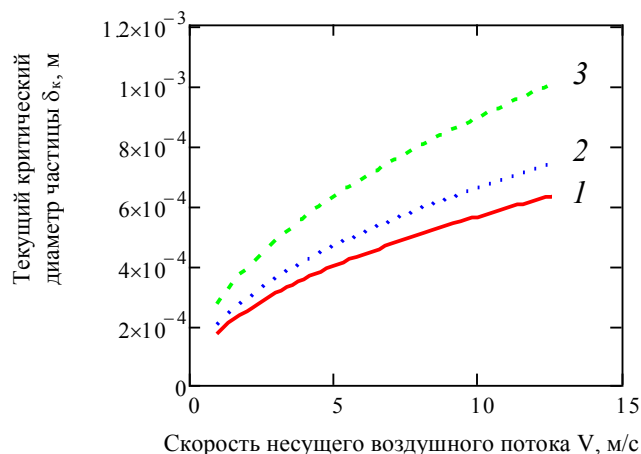


Рисунок 2 – Зависимость критического текущего диаметра δ_k частицы от скорости несущего воздушного потока V и параметрической зависимости от скорости подачи частиц в сепарирующий канал V_0 (1 – $V_0 = 0,4$; 2 – $V_0 = 0,5$; 3 – $V_0 = 0,6$ м/с)

В свою очередь, результаты расчета коэффициента уноса ε_1 по формулам (17), (18) с учетом зависимостей текущего критического диаметра частицы (14) (рис. 2) в графическом виде приведены на рисунке 3.

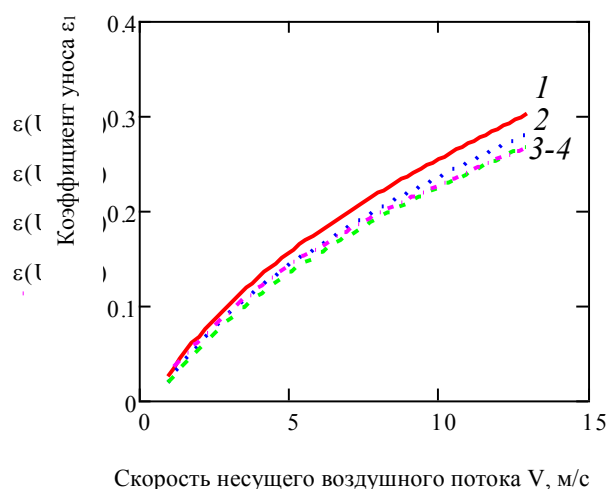


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента уноса ε_1 по скорости несущего воздушного потока V и параметрической зависимости от скорости подачи частиц в сепарирующий прибор V_0 (1 – $V_0 = 0,4$; 2 – $V_0 = 0,5$; 3 – $V_0 = 0,6$; 4 – $V_0 = 0,7$ м/с)

Как показывает расчет по формуле (14), а также данные кривых рисунка 2, наиболее приближенное по величине к параметру управления процесса $\delta_4 = 0,8$ мм – верхнему размеру целевого диапазона достигается при параметрах управления $V = 13$, $V_0 = 0,5$ м/с, $\alpha = -\pi/4$ и составляет $\delta_{гд} = 0,79$ мм. Так как, согласно расчетам, по окончании первого этапа процесса

обработки смесь содержит в себе частицы размером более $\delta_{\text{гл}}$ (глобальный критический диаметр), это, в свою очередь, позволяет включить в процесс вторую обработку на основе выражения функции распределения расчета вида

$$F_1(\delta) = \begin{cases} F_0(\delta) & \text{при } 0 \leq \delta \leq \delta_{\text{гл}}, \\ F_0(\delta_{\text{гл}}) & \text{при } \delta > \delta_{\text{гл}}, \end{cases} \quad (19)$$

где $F_0(\delta)$ задают по (17), $\delta_{\text{гл}} = 0,79$ мм.

На рисунке 4 представлено графическое выражение функции (19) совместно с функцией распределения частиц.

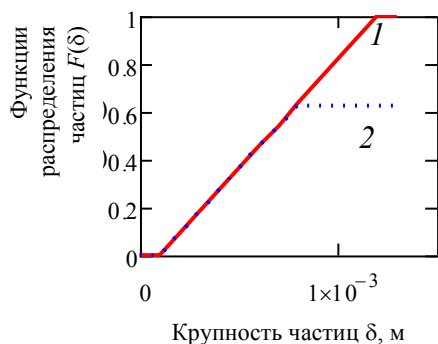


Рисунок 4 – Зависимость функции распределения $F_0(\delta)$ частиц от их размера до обработки в пневмосепараторе (1); $F_1(\delta)$ – после обработки в пневмосепараторе (2)

Применительно к сахарной отрасли эта процедура довольно близка к способу приведения белого сахара к товарному виду по гранулометрическому составу в соответствии с требованиями ГОСТа после центрифугирования утфеля и сушки кристаллов сахара.

Эту задачу решают, например, рассчитывая коэффициент уноса ε (14) по параметру управления V – скорости подачи воздуха в рабочий объем установки.

Исходя из выражения коэффициента уноса (18) и данных по функции распределения $F_1(\delta)$, проведен отраженный на рисунке 5 расчет величины ε_2 из зависимости

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{h} \int_0^h F_1(\delta(z)) dz, \quad (20)$$

где $F_1(\delta)$ определено по (19).

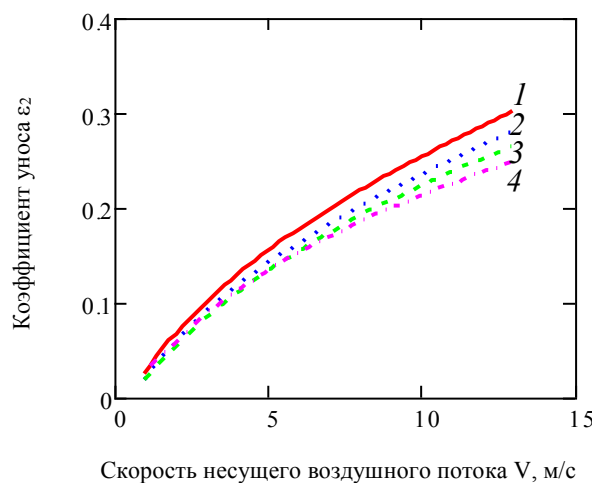


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента уноса ε_2 по скорости несущего воздушного потока V и параметрической зависимости от скорости подачи частиц в сепарирующий прибор V_0 (1 – $V_0 = 0,4$; 2 – $V_0 = 0,5$; 3 – $V_0 = 0,6$; 4 – $V_0 = 0,7$ м/с)

В соответствии со смыслом глобального критического диаметра и данными рисунка 5 после вторичной обработки смеси частицы размером $\delta > \delta_{гл} = 0,79$ мм осаждаются в нижней части прибора и в дальнейшем в процедуре классификации не участвуют, а могут быть отправлены, например, на растворение и кристаллизацию в вакуум-аппарате.

Исходя из того, что коэффициент осветления η имеет связь с коэффициентом уноса ε ($\eta = 1 - \varepsilon$), на рисунке 5 приведены рассчитанные зависимости коэффициента η по скорости несущего воздушного потока V и параметрической зависимости от скорости V_0 подачи частиц в сепарирующий прибор. При этом следует иметь в виду, что среди частиц отнота (см. рис. 1) содержатся и частицы целевого размера δ_3 .

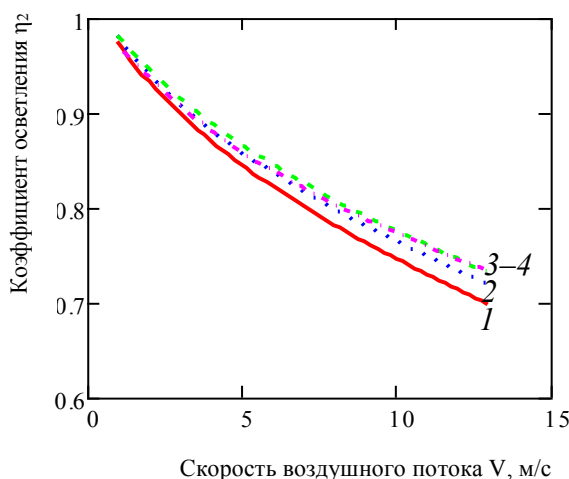


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента осветления η_2 от интенсивности воздушной среды V воздушного потока при разделении смеси частиц в рабочем объеме пневмосепаратора ($1 - V_0 = 0,4$; $2 - V_0 = 0,5$; $3 - V_0 = 0,6$; $4 - V_0 = 0,7$ м/с)

Поскольку процессы осаждения крупной взвеси в нижней части сепаратора, а более мелкой вверх в отноты (см. рис. 1) развиваются одновременно, то синтетический (результатирующий) ζ_2 эффект разделения смеси за этот период (по аналогии с расчетом вероятности наступления независимых событий в теории вероятностей) вычисляется как произведение коэффициента ε_2 уноса и коэффициента η_2 осветления, т. е. из зависимости

$$\zeta_2 = \varepsilon_2 \eta_2, \quad (21)$$

где ε_2 определено по (20), $\eta_2 = 1 - \varepsilon_2$.

Величина синтетического коэффициента указывает на вероятность того, что в обработанной разделением смеси относительное количество частиц целевого размера $\delta \in [0,5; 0,8$ мм] составляет ζ_2 .

Отраженные графиками результаты расчета на базе (21) приведены на рисунке 7.

Представленные на рисунках 2–7 результаты характеризуют основные показатели процесса физико-математического моделирования с использованием пневмосепаратора для классификации измельченных смесей. Откуда также явно видно, что с увеличением скорости воздушного потока (см. рис. 2) растет величина критического диаметра частиц смеси, как и величин удельного содержания частиц более мелкой фракции, что связано с коэффициентами уноса ε_1 и ε_2 . Это позволяет говорить о более высокой эффективности удаления из сепарируемой смеси мелкой фракции с увеличением потока воздушной среды.

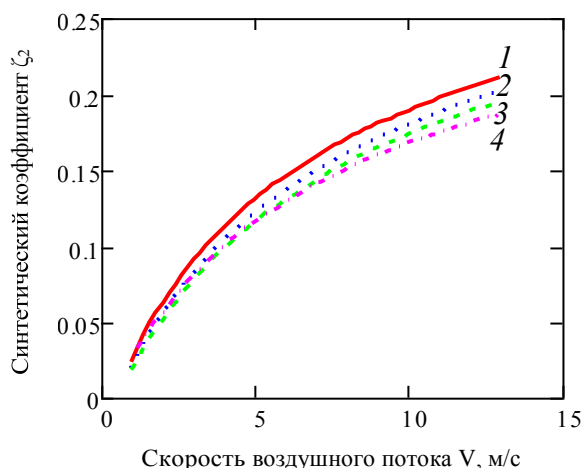


Рисунок 7 – Зависимость синтетического коэффициента ζ_2 от величины скорости воздушной среды V в рабочем объеме пневмосепаратора (1 – $V_0 = 0,4$; 2 – $V_0 = 0,5$; 3 – $V_0 = 0,6$; 4 – $V_0 = 0,7$ м/с)

Кроме того, следует отметить слабую зависимость полученных результатов вычислений от ширины канала (L), а также от величины начальной скорости (V_0) выходящей из канала подпитки сепаратора.

Заключение

Разработана физико-математическая модель количественной классификации порошкообразных смесей в сфере потребительских продуктов высокого качества. Результаты исследований с ее использованием находятся в полном согласии с физическим смыслом процесса пневмосепарирования.

Полученные в этом направлении результаты исследований позволяют говорить о решении проблемы аналитического подхода в расчетах режимных параметров для обоснования подбора оборудования при классификации измельченных смесей с использованием пневмосепарирования.

Библиография

1. Демский А.Б., Веденьев В.Ф. Оборудование для производства муки, крупы и комбикормов: справочник. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 444 с.
2. Бусроуд Р. Течение газа со взвешенными частицами. – М.: Мир, 1975. – 380 с.
3. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка газа и воздуха от пыли в химической промышленности. – Л.: Химия, 1982. – 320 с.
4. Веденьев В.Ф., Семенов Е.В., Чернышев Д.Ю. Процесс сепарирования зерна от примесей, отличающихся аэродинамическими свойствами. Теоретические основы пищевых технологий. – М.: КолосС, 2009. – С. 366–395.
5. Кудрявцев Е.М. МATHCAD 2000. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 570 с.
6. Семёнов Е.В., Славянский А.А., Ильина В.В. Моделирование роста кристаллов сахарозы из ее растворов // Сахар. – 2004. – № 4. – С. 37–40.
7. Славянский А.А., Мойсеяк М.Б., Диденко В.М. и др. Применение пищевых ПАВ для интенсификации технологических процессов продуктового отделения сахарного завода. – М.: Изд-во МГУПП, 2005. – 22 с.
8. Славянский А.А. Специальная технология сахарного производства. – 2-е изд., испр. – СПб., 2020. – 216 с.
9. Семёнов Е.В., Славянский А.А., Сергеева Е.А. и др. Особенности диффузионного процесса кристаллизации сахарозы // Сахар. – 2013. – № 3. – С. 46–50.
10. Славянский А.А. Центрифугирование и его влияние на выход и качество сахара. – М., 2007. – 180 с.

11. *Славянский А.А., Семёнов Е.В., Грибкова В.А. и др.* Совершенствование контроля центрифугирования утфеля и кристаллизации // *Сахар.* – 2023. – № 7. – С. 25–33.
12. *Семёнов Е.В., Карамзин В.А., Новикова Г.Д.* Методы расчетов гидромеханических процессов в пищевой промышленности. – М.: Изд-во МГУПП, 2002. – 492 с.
13. *Splenter L.E., Nirschl H, Stickland A.D. et al.* Pseudo two-dimensional modeling of sediment build-up in centrifuges: A compromatent approach using compressional rheology // *AIChE Journal.* – 2013. – Vol. 59, N 10. – P. 3843–3855.
14. *Славянский А.А., Семёнов Е.В., Грибкова В.А. и др.* О кинетике потока жидкости в центробежном сепараторе // *Хранение и переработка сельхозсырья.* – 2020. – № 4. – С. 166–176.
15. *Славянский А.А., Грибкова В.А., Николаева Н.В. и др.* Физико-химические основы промышленной кристаллизации сахарозы // *Сахар.* – 2021. – № 4. – С. 28–33.
16. *Семёнов Е.В., Славянский А.А., Карамзин В.А.* Количественное моделирование процесса разделения суспензий в роторе фильтрующей центрифуги периодического действия // *Химическое и нефтяное машиностроение.* – 2014. – № 11. – С. 17–20.
17. *Абидуев А.А., Петунов С.В., Иванов Н.М. и др.* Математическая модель технологического процесса фракционной очистки зерна // *Вестник ВСГУТУ.* – 2018. – № 2 (69). – С. 27.
18. *Мухтаров Я.С., Суфиянов Р.Ш., Лашков В.А. и др.* Разработка математического описания процесса центрифугального отделения жидкостной фазы // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2014. – Т. 17, № 7. – С. 237–238.
19. *Миньков Л.Л., Степанова Ю.О.* Влияние циркуляционной зоны на скорость оседания мелких частиц бидисперсной суспензии // *Вестник Томского гос. ун-та. Математика и механика.* – 2013. – № 5. – С. 70–77.
20. *Славянский А.А., Алексеев А.А., Грибкова В.А. и др.* К расчету прибора управления процессом промывания сахара-песка в центрифуге периодического действия по «гибкой» программе // *Сахар.* – 2019. – № 10. – С. 22–26.
21. *Грибкова В.А., Семёнов Е.В., Славянский А.А. и др.* Особенности процесса седиментации взвеси в роторе центрифуги периодического действия // *Вестник ВСГУТУ.* – 2024. – № 1 (92). – С. 72–82.
22. *Жигжитов А.О., Ямпиллов С.С., Цыбенков Ж.Б. и др.* Пневмосепарирующая машина с разделением частиц по силе тяжести // *Вестник ВСГУТУ.* – 2023. – № 1 (88). – С. 53–60.
23. *Bell G.R.A., Symons D.D., Pearse J.R.* Mathematical model for solids transport power in a decanter centrifuge // *Chen. Eng. Sci.* – 2014. – Vol. 107. – P. 114–122.

Bibliography

1. *Demskiy A.B., Vedenyev V.F.* Equipment for production of flour, cereals and feed stuff (reference book). – М.: Publishing House “DeLi print”, 2005. – 444 p.
2. *Busroud R.* Gas flow with suspended particles. – М.: Publishing House “Mir”, 1975. – 380 p.
3. *Kouzov P.A., Malgin A.D., Skryabin G.M.* Purification of gas and air from dust in chemical industry. – L.: Publishing House “Chemistry”, 1982. – 320 p.
4. *Vedenyev V.F., Semenov E.V., Chernyshev D.Yu.* Process of separating grain from impurities that differ in aerodynamic properties. Theoretical foundations of food technologies. – М.: Publishing house “KolosS”, 2009. – P. 366–395.
5. *Kudryavtsev E.M.* MATHCAD 2000. – М.: DMK Press, 2001. – 570 p.
6. *Semyonov E.V., Slavyanskiy A.A., Ilyina V.V.* Modeling growth of sucrose crystals from its solutions // *Sahar.* – 2004. – N 4. – P. 37–40.
7. *Slavyanskiy A.A., Moiseyak M.B., Didenko V.M. et al.* Application of food surfactants to intensify technological processes in food department of sugar factory. – М.: MSUFP, 2005. – 22 p.
8. *Slavyanskiy A.A.* Special technology of sugar production. – 2nd edition, revised. – St. Petersburg, 2020. – 216 p.
9. *Semyonov E.V., Slavyanskiy A.A., Sergeeva E.A. et al.* Features of diffusion process of sucrose crystallization // *Sahar.* – 2013. – N 3. – P. 46–50.
10. *Slavyanskiy A.A.* Centrifugation and its effect on yield and quality of sugar. – М., 2007. – 180 p.
11. *Slavyanskiy A.A., Semyonov E.V., Gribova V.A. et al.* Control improvement of massecuite centrifugation and crystallization // *Sahar.* – 2023. – N 7. – P. 25–33.

12. *Semyonov E.V., Karamzin V.A., Novikova G.D.* Methods for hydromechanical processes calculation in food industry. – M.: MSUFP, 2002. – 492 p.
13. *Splenter L.E., Nirschl H., Stickland A.D. et al.* Pseudo two-dimensional modeling of sediment build-up in centrifuges: A compartment approach using compressional rheology // *AIChE Journal*. – 2013. – Vol. 59, N 10. – P. 3843–3855.
14. *Slavyanskiy A.A., Semyonov E.V., Gribkova V.A. et al.* Kinetics of liquid flow in centrifugal separator // *Storage and Processing of Farm Products*. – 2020. – N 4. – P. 166–176.
15. *Slavyanskiy A.A., Gribkova V.A., Nikolaeva N.V. et al.* Physico-chemical foundations of industrial crystallization of sucrose // *Sahar*. – 2021. – N 4. – P. 28–33.
16. *Semyonov E.V., Slavyanskiy A.A., Karamzin V.A.* Quantitative modeling of suspensions separation process in rotor of periodic filter centrifuge // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2014. – N 11. – P. 17–20.
17. *Abiduev A.A., Petunov S.V., Ivanov N.M. et al.* Mathematical model of the technological process of fractional grain cleaning under conditions // *ESSUTM Bulletin*. – 2018. – N 2 (69). – P. 27.
18. *Mukhtarov Ya.S., Sufiyarov R.Sh., Lashkov V.A. et al.* Development of mathematical description of process of centrifugal separation of liquid phase // *Bulletin of the Technological University, Kazan*. – 2014. – Vol. 17, N 7. – P. 237–238.
19. *Minkov L.L., Stepanova Yu.O.* Circulation zone influence on settling rate of small particles of bidisperse suspension // *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*. – 2013. – N 5. – P. 70–77.
20. *Slavyanskiy A.A., Alekseev A.A., Gribkova V.A. et al.* Calculation of control device for process of washing granulated sugar in periodic centrifuge according to “flexible” program // *Sahar*. – 2019. – N 10. – P. 22–26.
21. *Gribkova V.A., Semyonov E.V., Slavyanskiy A.A. et al.* Special aspects of suspension sedimentation process in a periodic action centrifuge rotor // *ESSUTM Bulletin of*. – 2024. – N 1 (92). – P. 72–82.
22. *Zhigzhitov A.O., Yampilov S.S., Tsybenov Zh.B. et al.* Pneumatic separation machine with particle separation by gravity // *ESSUTM Bulletin*. – 2023. – N 1 (88). – P. 53–60.
23. *Bell G.R.A., Symons D.D., Pearse J.R.* Mathematical model for solids transport power in a decanter centrifuge // *Chemical Engineering Science*. – 2014. – Vol. 107. – P. 114–122.

DOI 10.53980/24131997_2024_2_75

Ю.Ц. Бадмаев, канд. техн. наук, e-mail: badmaev57@bk.ru

А.С. Дроздов, студент, e-mail: alexander.97531@mail.ru

Д.Г. Дугаров, студент, e-mail: dashi3502@mail.ru

М.И. Гильдibrant, студент, e-mail: m4igildibrant@mail.ru

Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, г. Улан-Удэ

УДК 631.3:631.8(571.54)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ БИОГАЗА В МЕТАНТЕНКЕ С БИОФИЛЬТРОМ

Основная сущность методики теоретических исследований заключается в построении математической модели процесса накопления активной биомассы (метанообразующие микроорганизмы) на носителях биофильтра, которая характеризует интенсивность образования биогаза в метантенке. При существующих технологиях концентрация активной биомассы выносятся из метантенка с выгруженным переработанным сырьем. Поэтому при изучении кинетики микробиологических процессов образования биогаза основное внимание было уделено теоретическому исследованию переработки органической биомассы, зависящей от эффективности применения биофильтра в метантенке. В статье даны технологическая схема и техническая характеристика метантенка с биофильтром. В результатах теоретических исследований представлена полученная нами математическая модель интенсификации процесса образования биогаза в зависимости от накопления активной биомассы метанообразующих микроорганизмов на носителях шарообразного биофильтра и его энергетическая характеристика.

Ключевые слова: теоретические исследования, метантенк, биофильтр, органическое сырье, биогаз, удобрение.

Yu.Ts. Badmaev, Cand. Sc. Engineering, e-mail: badmaev57@bk.ru

A.S. Drozdov, student, e-mail: alexander.97531@mail.ru

D.G. Dugarov, student, e-mail: dashi3502@mail.ru

M.I. Gildibrant, student, e-mail: m4igildibrant@mail.ru

V.R. Filippov Buryat State Agricultural Academy, Ulan-Ude

THEORETICAL STUDIES ON PROCESS OF BIOGAS FORMATION IN METHANE TANK WITH BIOFILTER

The main essence of the theoretical research methodology is based on the construction of a mathematical model of the accumulation of active biomass (methane-forming microorganisms) on biofilter carriers, which characterizes the intensity of biogas formation in a methane tank. With existing technologies, the concentration of active biomass is removed from the methane tank with unloaded processed raw materials. Therefore, when studying the kinetics of microbiological processes of biogas formation, the main attention was paid to the theoretical study of the processing of organic biomass, depending on the effectiveness of the biofilter in the methane tank. The article presents the technological scheme and technical characteristics of a methane tank with a biofilter. The results of theoretical studies present the mathematical model of intensification of the biogas formation process obtained by us, depending on the accumulation of active biomass of methane-forming microorganisms on the carriers of a spherical biofilter and its energy characteristics.

Key words: theoretical research, methane tank, biofilter, organic raw materials, biogas, fertilizer.

Введение

Одним из решений интенсификации процесса переработки органических отходов животноводства является применение биоэнергетических технологий путем разработки и создания нако-

питателей (биофильтров) активной биомассы (энергообразующие микроорганизмы) в камере сбраживания метантенка. При существующих технологиях концентрация активной биомассы выносятся из метантенка с выгруженным переработанным сырьем. Поэтому при изучении кинетики микробиологических процессов образования биогаза основное внимание уделяют теоретическому исследованию переработки органической биомассы, которая зависит от эффективности применения биофильтра в метантенке. Отсюда следует, что, несмотря на многолетние исследования и практическое применение анаэробного сбраживания органических отходов животноводства, пока не получено общепризнанное математическое описание образования биогаза в метантенке с биофильтром, которое позволило бы применить при научно-исследовательских работах. В связи с этим наше исследование заключается в разработке математической модели процесса образования биогаза в метантенке с биофильтром, который характеризует интенсивность переработки органических отходов [1, 2].

Целью исследования является разработка математической модели интенсивности образования биогаза в метантенке в зависимости от процесса накопления метанообразующих микроорганизмов на носителях биофильтра.

Материалы и методы исследования

Основным конструктивным элементом для определения методики теоретического исследования процесса образования биогаза в метантенке (рис. 1) является анаэробный биофильтр (3), представляющий собой форму шара жесткой конструкции, структурным элементом которого являются лопасти (4), натянутые капроновой сеткой (6) с ячейкой 50×50 мм и диаметром шнура 5,0 мм (ГОСТ 25574-83). Биофильтр вращается вокруг своей оси на валу (7) с помощью выталкивающей силы образующегося биогаза, который собирается в емкости (8), выполненные из полимерного материала. В дно корпуса (1) с утеплителем (2) установлен штуцер (9) для принудительной подачи газа (биогаза) компрессором (10) в рабочую емкость (8) лопастей биофильтра, а также вентиль (11) для слива осадка с активным илом. Труба (12) служит для отвода образующегося биогаза, труба (13) – для подачи исходной массы и ввода активного ила (система рециркуляции), труба (14) – для удаления переработанного навоза, зубья (15) – для разрушения образующейся корки на поверхности перерабатываемого навоза [3].

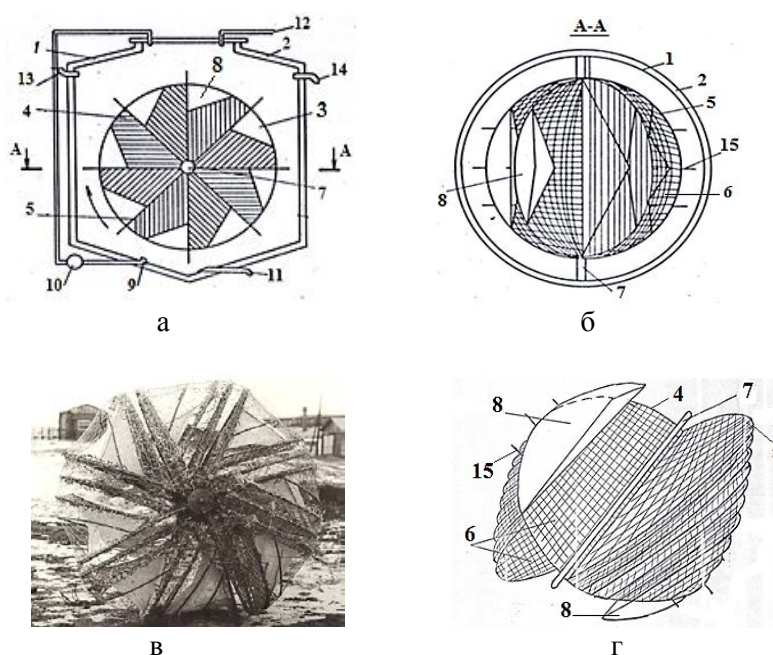


Рисунок 1 – Метантенк с биофильтром: а – технологическая схема; б – вид сверху (сечение А–А); в – общий вид биофильтра сбоку; г – 1/4 часть биофильтра

Таблица 1

Техническая характеристика метантенка с биофильтром

Наименование	Ед. изм.	Показатель
Метантенк		
Тип		цилиндрический
Полезная вместимость	м ³	1,3
Габаритные размеры (диаметр × высота)	м	1,3 x 1,2
Биофильтр		
Тип		шарообразный
Материал носителя лопастей биофильтра		капроновый шнур
Площадь поверхности носителя	м ²	36,0
Габаритные размеры: диаметр	м	1,0

Методика теоретического исследования образования биогаза в метантенке и его энергетической характеристики заключалась в построении математической модели процесса накопления метанообразующих микроорганизмов в биофильтре, где основой послужила кинетическая модель Конто, которая применяется к более широкому классу органических отходов. Она описывает интенсивность образования биогаза ($V_C, м^3/м^3сут$) в зависимости от технологических параметров процесса анаэробной переработки отходов в метантенке [4, 5]:

$$V_C = \frac{V_{\bar{o}}S}{\tau_{\mu}} \left(1 - \frac{\kappa_S}{\mu \tau_{\mu} - 1 + \kappa_S} \right), \quad (1)$$

где $V_{\bar{o}}(м^3/кг)$ – максимальное образование биогаза из органического сырья заданного состава; $\tau_{\mu}(сут)$ – время переработки; $S(кг/м^3)$ – исходная концентрация органического вещества в навозе; $\mu(кг/м^3сут)$ – максимальная скорость роста микроорганизмов в заданном процессе переработки; κ_S – кинетический параметр (константа полунасыщения).

В метантенке с накопленной активной биомассой на рабочих поверхностях биофильтра интенсивность образования биогаза $V_{c\phi}(м^3/м^3сут)$ суммируется из двух составляющих: $V_c(м^3/м^3сут)$ – интенсивность газообразования в традиционной биогазовой установке и $\Delta V(м^3/м^3сут)$ – изменение интенсивности газообразования в метантенке с биофильтром, и в результате получено следующее выражение [6, 7]:

$$V_{c\phi} = V_c + \Delta V. \quad (2)$$

Далее изменение интенсивности образования биогаза (ΔV), т. е. получение дополнительной составляющей образования биогаза с применением биофильтра в метантенке может зависеть от следующих параметров [8, 9]:

$$\Delta V = f(F_{\bar{o}}, S, X_{\bar{o}m}, L, dS/d\tau_{\mu}, \mu, \tau_{\mu} \text{ и } dp.), \quad (3)$$

где $F_{\bar{o}}(м^2)$ – общая площадь поверхности носителя лопастей биофильтра; $S(кг/м^3)$ – концентрация органического вещества в перерабатываемом органическом сырье; $X_{\bar{o}m}(кг/м^2)$ – масса метанообразующих микроорганизмов, накопленных на носителях биофильтра; $L(\%)$ – степень разложения органического вещества; $dS/d\tau_{\mu}$ – изменение концентрации органического вещества в перерабатываемом сырье за время (τ_{μ}); $\mu(кг/м^3сут)$ – интенсивность роста микроорганизмов в биофильтре.

Отсюда изменение интенсивности образования биогаза в метантенке с биофильтром находим по следующей формуле:

$$\Delta V = X_{\bar{o}m} \times K_{\bar{o}} \times (\mu / S), \quad (4)$$

где $K_{\bar{o}}(м^3/кг)$ – коэффициент образования биогаза с единицы активной биомассы биофильтра.

Массу накопленных активной биомассы на поверхностях носителя лопастей анаэробного биофильтра определяем по выражению:

$$X_{бм} = F_{б} \times \delta \times \rho_{б}, \quad (5)$$

где δ (м/м³) – толщина слоя накопленной биомассы в биофилт্রে; $\rho_{б}$ (кг/м³) – плотность биомассы.

Отсюда общую площадь поверхности носителя лопастей $F_{б}(м^2)$ разработанного нами шарообразного биофилтра определяем следующим образом:

$$F_{б} = F_{л} \times n_{л} = \pi d_{ш} \times l_{ш} \times n_{л}, \quad (6)$$

где $F_{л}(м^2)$ – общая площадь поверхности носителя (капроновый шнур) лопастей биофилтра; $d_{ш}(м)$ – диаметр капронового шнура; $l_{ш}(м)$ – общая длина шнура; $n_{л}(шт.)$ – количество лопастей биофилтра.

После преобразований выражение (2) интенсивности образования биогаза с накопленными метанообразующими микроорганизмами в анаэробном биофилт্রে примет вид:

$$V_{сф.} = B \frac{S}{\tau_{и}} \left(1 - \frac{\kappa_{с}}{\mu \tau_{и} - 1 + \kappa_{с}} \right) + [X_{бм} \times K_{б} \times (\mu / S)]. \quad (7)$$

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенного теоретического анализа конструктивных элементов технологического оборудования метантенка с биофилтром была получена математическая модель интенсивности образования биогаза $V_{сф}(м^3/м^3сут)$ в метантенке в зависимости от процесса накопления метанообразующих микроорганизмов на носителях шарообразного биофилтра в следующей редакции:

$$V_{сф.} = V_{с} + [X_{бм} \times K_{б} \times (\mu / S)], \quad (8)$$

Разработанная математическая модель (8) позволяет получить практическое применение в технологическом процессе переработки органических отходов. Поэтому производительность метантенка при переработке органического сырья зависит от интенсивности образования биогаза $V_{сф}(м^3/м^3сут)$ и находится в функциональной зависимости от структурных элементов биофилтра (диаметра, количества лопастей и площади поверхности носителей), с повышением размеров которых увеличиваются процесс накопления метанообразующих микроорганизмов (табл. 2) [10, 11].

Таблица 2

Результаты исследований интенсивности образования биогаза и его энергетической характеристики в метантенке с биофилтром

Площадь поверхности носителей биофилтра, $F_{аб}, м^2$	Масса накопленной активной биомассы, $X_{бм}, кг/м^2$	Интенсивность образования биогаза, $V_{сф}, м^3/сут$		Энергия биогаза $Q_{б}, КДж$	Энергия товарного биогаза $Q_{г}, КДж$	Энергосо-держание биофилтра, $Q_{аб}, КДж$	Степень разложения органического вещества, $L, (\%)$
		экспериментальное	теоретическое				
4,01	0,035	0,30	0,29	25	2,01	0	13,5
8,12	0,081	0,41	0,39	90	12,50	2,03	35,0
13,23	0,14	0,73	0,54	125	20,11	4,01	52,2
20,30	0,16	1,53	1,09	150	25,21	6,12	65,1
24,14	0,17	1,79	1,61	235	35,13	11,30	68,4
27,54	0,21	2,65	2,37	315	45,02	12,50	63,0
36,03	0,32	4,78	3,65	297	50,34	17,21	48,3

Полученные результаты теоретического исследования процесса образования биогаза (рис. 2), зависящие от оптимальных значений массы накопленных метанообразующих микроорганизмов на носителях лопастей биофильтра, позволили оптимизировать его технологические параметры, т. е. при оптимальном значении $X_{\text{бморп}}$, равной $0,17 \text{ кг/м}^2$ (рис. 2 а), соответствуют оптимальные значения конструктивных элементов биофильтра: диаметр (d_0) $1,0 \text{ м}$, количество лопастей соответственно ($n_{\text{л}}$) 8 шт. и, соответственно, площадь поверхностей носителей $F_{\text{аб опт}}$, равная $27,2 \text{ м}^2$, однако с увеличением которой уменьшается степень разложения ($L, \%$) перерабатываемого сырья (рис. 2 б).

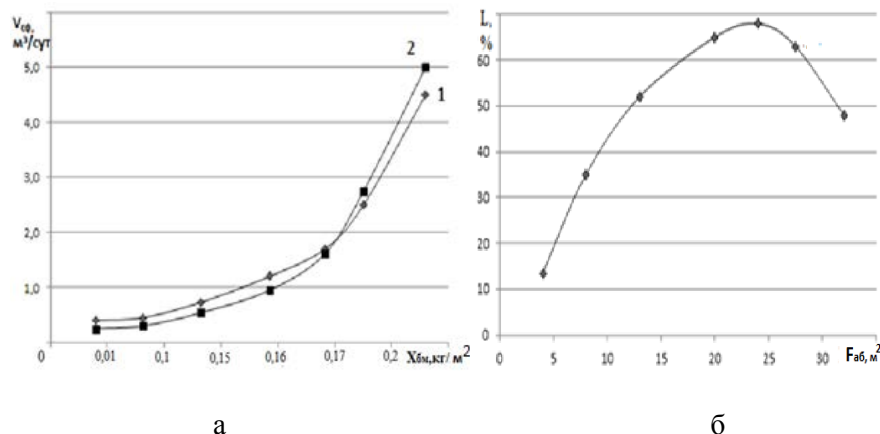


Рисунок 2 – Характеристика результатов теоретического исследования: а – интенсивности образования биогаза (1 – экспериментальное, 2 – теоретическое, $V_{\text{сф}}$ ($\text{м}^3/\text{сут}$), в зависимости от массы накопленных метанообразующих микроорганизмов ($X_{\text{бморп}}$, $\text{кг}/\text{м}^2$) в анаэробном биофильтре; б – степень разложения органического вещества – L , $\%$, в зависимости от площади поверхности носителей биофильтра – $F_{\text{аб}}$, м^2

Для оценки эффективности работы метантенка с биофильтром при проведении теоретических исследований (рис. 3) были получены энергетические характеристики образования биогаза в зависимости от рабочих поверхностей носителей анаэробного биофильтра $F_{\text{аб}}$ (м^2): энергия выделившегося биогаза Q_6 (кДж), характеризующая количественную сторону, а энергия товарного биогаза Q_7 (кДж) и энергосодержание биофильтра $Q_{\text{аб}}$ (кДж) – качественную сторону технологического процесса переработки органического сырья. Результаты теоретических исследований анаэробной переработки органического сырья позволили установить эффективность применения биофильтра в метантенке при накоплении сообщества метанообразующих микроорганизмов на его рабочих поверхностях, с увеличением которых повышается энергосодержание биофильтра $Q_{\text{аб}}$ в 2,0 раза и увеличивается товарная энергия биогаза Q_7 в 2,2 раза [12, 13].

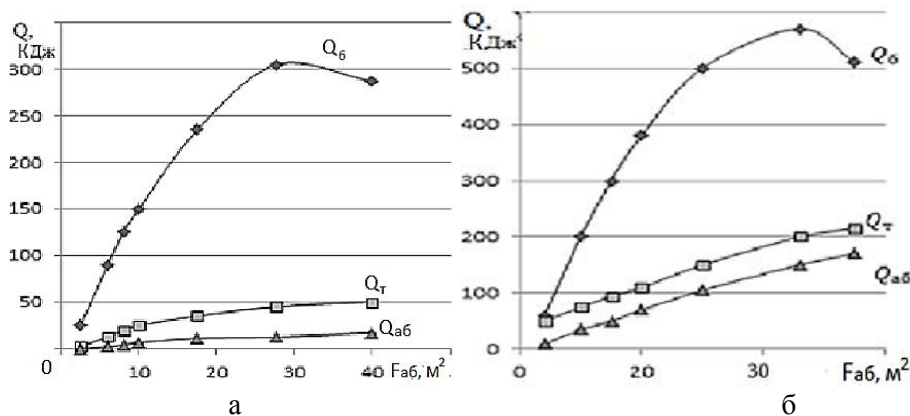


Рисунок 3 – Энергетическая характеристика Q (кДж) метантенка при переработке органических отходов в зависимости от площади поверхностей носителей биофильтра $F_{\text{аб}}$ (м^2)

Заключение

В результате проведенных теоретических исследований получены математическая модель интенсивности образования биогаза $V_{сф}$ в метантенке с биофильтром и результаты оптимальных значений накопления активной биомассы $X_{бм.опт}$ на его рабочих поверхностях при переработке органического сырья равной $0,17 \text{ кг/м}^2$, при повышении которых снижается степень разложения органического сырья, что существенно важно при проведении практических исследований. Также получены теоретические результаты производительности биофильтра при работе в метантенке, который находится в функциональной зависимости от его конструктивных элементов (диаметра, количества лопастей и площади поверхности носителей), с увеличением размеров которых повышается процесс накопления метаногенной микрофлоры и интенсивность образования биогаза, а степень разложения органической биомассы снижается.

Проведенные теоретические исследования интенсивности образования биогаза в метантенке с биофильтром и его энергетические характеристики позволили установить эффективность дальнейшего практического исследования данной технологии при анаэробной переработке органического сырья [14, 15].

Библиография

1. Осмонов О.М., Ковалев Д.А. Методика определения констант кинетики при анаэробной конверсии органических отходов // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2015. – Т. 18, № 10. – С. 212–215.
2. Бадмаев Ю.Ц., Шагдыров И.Б. Теоретические исследования биогаза-биотоплива для автономных сельскохозяйственных энергопотребителей // Агротуризм в России: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2014. – С. 17–20.
3. А. с. «SU» 1599319 А1, (51) 5 С 02 F 11/04. Аппарат для анаэробного сбраживания органических отходов животноводства, пищевой промышленности и городских стоков / Бадмаев Ю.Ц., Крюков В.Р., Ковалев А.А. – Заявл. 20.01.1988; опубл. 15.10.1990. – Бюл. № 38. – 5 с.: ил.
4. Доумчариева Ж.Е., Нуржигитова Ж.Н., Байжарикова М. А. и др. Расчет скорости выхода метана технологического процесса метанового сбраживания органического субстрата // Молодой ученый. – 2017. – № 4.1. – С. 39–44.
5. Друзьянова В.П., Сергеев Ю.А. Динамическая и математическая модели процесса анаэробного сбраживания навоза крупного рогатого скота // Вестник БГСХА. – 2015. – № 3(40). – С. 32–35.
6. Гвоздев Н.В. Имобилизованные клетки и ферменты. Интенсификация работы метантенков: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.23.04). – М., 1983. – 20 с. : граф.
7. Ножевникова А.Н., Мельник Р.А., Ягодина Т.Г. Поиски микробиологических путей интенсификации процесса метаногенеза на отходах животноводства // Биология термофильных микроорганизмов. – 1986. – С. 244–248.
8. Друзьянова В.П., Сергеев Ю.А. Общая целевая функция условной продуктивности биоэнергетической установки // Вестник ВСГУТУ. – 2016. – № 2 (59). – С. 30–36.
9. Ковалев А.А. Научные основы построения и расчета технологических линий производства биогаза // Энергетика и электромеханизация сельского хозяйства: науч. тр. – М.: Изд-во ВИЭСХ, 2000. – Т. 87. – 328 с.
10. Мельник Р.А., Бородин В.И., Пузанков А.Г. и др. Повышение эффективности анаэробной переработки навоза // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 11. – С. 6–8.
11. Друзьянова В.П. Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота: дис. ... д-ра техн. наук 05.20.01. – Улан-Удэ, 2017. – 357 с.
12. Ковалев А.А., Ковалев Д.А., Осмонов О.М. Способы повышения выхода товарного биогаза при анаэробной конверсии органических отходов в биоэнергетических установках // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ «Агроинженерия». – 2012. – № 2 (53). – С. 64–67.
13. Бадмаев Ю.Ц. Производственная проверка биогазовой установки второго поколения БГУ-2 в условиях Республики Бурятия // Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд-во СФНЦА РАН, 2019. – С. 263–267.
14. Друзьянова В. П., Петунов С.В., Сергеев Ю.А. Эффективность энергосберегающей биогазовой технологии // Вестник ФГБОУ «БГСХА им. В.Р. Филиппова». – 2018. – № 2 (51). – С. 148–153.

15. *Бадмаев Ю.Ц.* Методика эксплуатации биогазовой установки в условиях Байкальского региона // Вестник ВСГУТУ. – 2022. – № 4 (87). – С. 55–62.

Bibliography

1. *Osmonov O.M., Kovalev D.A.* Methodology for determining kinetic constants during anaerobic conversion of organic waste // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2015. – Vol. 18, N 10. – P. 212–215.

2. *Badmaev Yu.Ts., Shagdyrov I.B.* Theoretical studies of biogas-biofuel for autonomous agricultural energy consumers // Agrotourism in Russia: materials of the international. scientific-practical conf. – Ulan-Ude: Publishing House of the Belarusian State Agricultural Academy, 2014. – P. 17–20.

3. Apparatus for anaerobic digestion of organic waste from livestock, food industry and municipal wastewater: author's certificate "SU" 1599319 A1, (51) 5 C 02 F 11/04. / *Badmaev Yu.Ts., Kryukov V.R., Kovalev A.A.* – N 38, application. 01/20/1988, publ. 10/15/1990. – 5 p.: ill.

4. *Doumcharieva Zh.E., Nurzhigitova Zh.N., Bayzharikova M.A. et al.* Calculation of the methane yield rate of the technological process of methane fermentation of organic substrate // Young scientist. – 2017. – N 4.1. – P. 39–44.

5. *Druzyanova V.P., Sergeev Yu.A.* Dynamic and mathematical models of the process of anaerobic digestion of cattle manure // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. – 2015. – N 3 (40). – P. 32–35.

6. *Gvozdev N.V.* Immobilized cells and enzymes. – M., Intensification of the operation of digesters / abstract. diss. for the job application uch. degree candidate tech. Sciences (05.23.04). – M., 1983. – 20 p. graph.

7. *Nozhevnikova A.N., Melnik R.A., Yagodina T.G.* Searches for microbiological ways to intensify the process of methanogenesis on animal waste // Biology of thermophilic microorganisms. – 1986. – P. 244–248.

8. *Druzyanova V.P., Sergeev Yu.A.* General target function of the conditional productivity of a bioenergy plant // ESSUTM Bulletin. – 2016. – N 2 (59). – P. 30–36.

9. *Kovalev A.A.* Scientific basis for constructing and calculating technological lines for biogas production. // Energy and electromechanization of agriculture: Scientific works. – M.: VIESKh, 2000. – Vol. 87. – 328 p.

10. *Melnik R.A., Borodin V.I., Puzankov A.G. et al.* Increasing the efficiency of anaerobic processing of manure // Mechanization and electrification of agriculture. – 1985. – N 11. – P. 6–8.

11. *Druzyanova V.P.* Energy-saving technology for processing cattle manure [Text]: dis. ... Dr. Tech. Sciences 05.20.01. – Ulan-Ude, 2017. – 357 p.

12. *Kovalev A.A., Kovalev D.A., Osmonov O.M.* Methods for increasing the yield of marketable biogas during anaerobic conversion of organic waste in bioenergy plants // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education MGAU "Agroengineering". – 2012. – N 2 (53). – P. 64–67.

13. *Badmaev Yu.Ts.* Production testing of the second generation biogas plant BGU-2 in the conditions of the Republic of Buryatia // Materials of the international. scientific-practical conf. – Novosibirsk: SFSC RAS, 2019. – P. 263–267.

14. *Druzyanova V.P., Petunov S.V., Sergeev Yu.A.* Efficiency of energy-saving biogas technology // Bulletin of the Federal State Budgetary Educational Institution "BSA named after. V.R. Filippov". – 2018. – N 2 (51). – P. 148–153.

15. *Badmaev Yu.Ts.* Methodology for operating a biogas plant in the conditions of the Baikal region // ESSUTM Bulletin. – 2022. – N 4 (87). – P. 55–62.

DOI 10.53980/24131997_2024_2_82

И.Н. Аммосов, ст. преподаватель
Ю.Ж. Дондоков, канд. техн. наук, доц.
Ш.Т. Юсупов, д-р техн. наук, доц.

В.М. Дринча, д-р техн. наук, профессор, e-mail: vdrincha@list.ru
Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск

УДК 631.365.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СЫПУЧЕСТИ ЗЕРНА И РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО АЭРАТОРА КОЛОНКОВОГО ТИПА

Исследовано физическое свойство сыпучести основных зерновых материалов при свободном или естественном истечении зернового материала при высыпании его через небольшое отверстие на ровную горизонтальную плоскость, а также при нахождении зерна в стесненных условиях. Приведена классификация зерновых материалов по свойствам сыпучести в зависимости от их углов естественного откоса на 5 классов. Определены предельные значения углов естественного откоса основных зерновых материалов при влажности 14–16 % и при свободном истечении на разработанном устройстве. Определено проникновение зерна в межперегородочное пространство при стесненном нахождении зерна в разработанной лабораторной установке. Установлено, что с увеличением расстояния между перегородками глубина проникновения зерна увеличивается независимо от углов наклона перегородок, а оптимальные значения угла наклона перегородок находятся в пределах 20°, при котором проникновение зерна между перегородками имеет минимум. Определено, что для решения различных задач аэрирования зерна можно подобрать оптимальные значения углов наклона перегородок и расстояний между ними, при которых зерно не будет поступать во внутреннюю полость, образованную перегородками и соединенную с воздухоподводящим каналом. По результатам данного эксперимента на кафедре технологических систем АПК (ФГБОУ ВО «Арктический ГАТУ») разработано техническое решение универсальной аэрационной колонки, которое признано изобретением (п. РФ №2777902). Предварительные испытания колонки показали ее универсальность и экономичность.

Ключевые слова: зерно, сыпучесть зерновых материалов, угол естественного откоса, устройство для определения сыпучести зерна, аэратор зерна колонкового типа.

I.N. Ammosov, senior lecturer
Yu.Zh. Dondokov, Cand. Sc. Engineering, Associate Prof.
P.C. Yusupov, Dr. Sc. Engineering, Associate Prof.
V.M. Drincha, Dr. Sc. Engineering, Prof., vdrincha@list.ru
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk

STUDY OF GRAIN FLOWABILITY AND DESIGN OF UNIVERSAL CORE TYPE AERATOR

The article studies physical property of grain flowability at free or natural grain flow when pouring through a small hole onto a flat horizontal plane, as well as when grain is in cramped conditions. The study classifies grains into 5 classes according to their flowability depending on their natural slope of repose. It also determines limiting values of slope of repose of basic grains at humidity of 14–16 % and with free flow on the designed device. The research detects penetration of grain into the partition space when grain was cramped into the designed device. It figures out that with increasing distance between the partitions, depth of grain penetration increases regardless of the partition grade of slope. Optimal values of partition grade of slope are within 20°, at which the penetration of grain between partitions is minimal. So, to solve various problems of grain aeration, it is possible to select the optimal values of partitions grade of slope and distances between them, at which grain does not flow into partitions internal cavity, connected to air supply channel. Based on the results of this experiment, the Department of Technological Systems of the Agro-Industrial Complex (Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Arctic State Technical University) developed

a technical solution for universal core type aerator, which was recognized as an invention (Patent N 2777902). Preliminary tests of the aerator showed its versatility and cost-effectiveness.

Key words: grain, grain flowability, slope of response, device for determining grain flowability, universal core type aerator.

Введение

В сельском хозяйстве, элеваторной промышленности, комбикормовой индустрии и перерабатывающих отраслях из года в год обрабатываются и хранятся огромные объемы зерновых материалов. Практически на всех этапах обращения с зерном, начиная от отделений или пунктов временного хранения комбайнового зерна до этапа хранения зерна, с целью сохранности его качества применяются технологии аэрирования зерновых материалов.

Задачи аэрирования зерна определяются в основном двумя группами факторов: состоянием зерна и технологическим процессом, при котором целесообразно осуществлять аэрирование. Этими задачами являются охлаждение, сушка и кондиционирование зерна. За рубежом и в отечественном зернопродовстве, независимо от задач аэрирования, в последние десятилетия все шире применяют вертикальные аэрационные колонки [1, 2].

На основании анализа литературных источников [3, 4] по аэрированию зерна, а также собственного опыта можно заключить, что в практике надлежащее применение аэрации зерна существенно ограничивается из-за недостаточных знаний процесса аэрирования, а также из-за отсутствия доступных и удобных технических устройств для аэрирования зерновых материалов.

Название «зерновой материал» относится к семенному, продовольственному и фуражному зерну любых зерновых, бобовых и масличных культур. Зерновой материал включает в себя зерно основной культуры, примеси (минеральную и органическую), а также примеси микроорганизмов и воздуха (газа), занимающего межзерновое пространство. В состав зернового материала могут входить также вредители хлебных запасов, продукты их жизнедеятельности, а также инородные тела. Таким образом, зерновой материал – это двухфазная сыпучая система: твердые частицы и газ. Особенностью зернового материала является то, что он состоит из живых организмов и ведет себя как живой биологический комплекс. При этом свойства зерновой массы как объекта аэрирования делятся на две группы: физические и биохимические. В данной статье значения терминов «зерновой материал» и «зерно» идентичны и приняты синонимами.

Во многом сложности, связанные с аэрированием зерна, обусловлены нехваткой знаний о таком его физическом свойстве, как сыпучесть.

Сыпучесть зернового материала обусловлена тем, что он состоит из множества отдельных твердых частиц, обладающих большой степенью подвижности по отношению друг к другу. В одной тонне зерна пшеницы может находиться 30–40 млн зерен, а в одной тонне проса – 150–190 млн зерен.

Несмотря на то что человек знаком с зерном с незапамятных времен и почти на всех этапах зернопроизводства, свойство сыпучести зерна и в настоящее время остается, пожалуй, самым неизученным физическим процессом [5–7].

Свойство сыпучести зерна в зернопроизводстве обуславливает проблемы, связанные с его сегрегацией и перемещением в зерновом оборудовании. Проблемы усугубляются тем, что сыпучесть является функцией физических свойств зерна и в первую очередь его влажности, а также свойств адгезии [8–11].

В большинстве случаев сегрегация оказывает вредное влияние на технологические процессы в сельском хозяйстве. Например, в бункерах сеялок вследствие сегрегации происходит расслоение семян по их плотности и размерным характеристикам, что существенно нарушает технологический процесс высева. Особенно проблема усугубляется при высеве семенных смесей семян трав, состоящих из нескольких видов семян, имеющих различную плотность.

Свойства сыпучести зерновых материалов имеют огромное влияние на хранение зерна в горизонтальных и вертикальных хранилищах [3, 12, 13]. Неоднородное распределение зерна по

гранулометрическим свойствам в зерновой массе вследствие сегрегации приводит к изменению сопротивления воздушному потоку зернового слоя по площади хранилища, что, в свою очередь, способствует образованию очагов самосогревания и порчи зерна, так как на уплотненных участках зерно хуже продувается вследствие вентиляции.

При заполнении зерновых силосов или бункеров распределение зерна по их объему зависит от гранулометрических свойств, формы и плотности зерновок, а также от способов и технических средств для загрузки зерна. Чаще всего сегрегация зерновок по гранулометрическим свойствам наблюдается:

– при свободном падении зернового потока, зерновки в котором наряду с вертикальной скоростью имеют и горизонтальную составляющую скорости;

– при столкновении зернового потока с наклонной плоскостью, которая часто образуется в виде конуса при заполнении бункеров.

При свободном падении зернового потока каждая зерновка подвергается воздействию двух сил: силы тяжести и силы противодействия воздуха. Первая из них сила тяжести и пропорциональна произведению объема частицы на ее плотность и направлена вертикально вниз. Сила противодействия воздуха или аэродинамическая сила направлена вверх и является функцией миделева сечения и формы зерновки, а также ее скорости. При вертикальном свободном падении обе эти силы направлены по одной линии, конечные скорости зерновок разные, а их траектории близки. В момент достижения опорной поверхности, например, зернового конуса, конечные скорости более крупных и тяжелых зерновок будут большими, чем более мелких и легких, при этом крупные зерновки будут больше отклоняться от осевой линии, чем мелкие и легкие, что, в свою очередь, приводит к сегрегации зерна в бункере и образованию в центре вдоль линии загрузки материала с мелкими частицами, а следовательно, и к увеличению его сопротивления продувки воздушным потоком. Когда материал подается с конвейера или выпускается через наклонную воронку, появляется горизонтальная составляющая скорости и в этом случае силы тяжести и аэродинамического сопротивления воздуха не совпадают по направлению, траектории движения зерновок расходятся и увеличивается сегрегация.

При столкновении зернового потока с наклонной поверхностью зерновки скатываются по уклону, причем крупные, тяжелые и округлые зерновки катятся дальше, чем мелкие, легкие и чешуйчатые, которые остаются преимущественно там, где они сталкиваются с наклонной плоскостью. Во время заполнения материала в бункерное хранилище мелкие частицы концентрируются столбиком вдоль вертикальной траектории, а крупные частицы скатываются к стенкам бункера.

В процессе предварительного анализа сыпучести зерна и вертикальных аэрационных колонок была выработана рабочая гипотеза, что физическое свойство сыпучести может быть использовано для разработки универсальных колонок путем выполнения перфорированной части колонки в виде отдельных элементов пластинчатого типа. При этом универсальность колонок повышается за счет возможности их использования на зерне различного гранулометрического состава (мелкого и крупного) без надобности замены перфорированной части для каждой культуры.

Целью работы является обобщенный анализ и исследование сыпучих свойств зерновых материалов, а также разработка универсального аэратора колонкового типа.

Материалы и методы исследования

В процессе литературного анализа отечественных и зарубежных источников, а также собственных исследований определили сыпучие свойства основных зерновых материалов.

Исследование сыпучести зерновых материалов проводили при свободном или естественном истечении зернового материала при высыпании его через небольшое отверстие на ровную горизонтальную плоскость, а также при нахождении зерна в стесненных условиях, т. е. в усло-

виях, когда материал находится практически в неподвижном состоянии и только незначительная его часть проникает через пограничную область взаимодействия с перегородками, установленными параллельно друг к другу и под углом к горизонту.

Исследования сыпучих свойств при свободном истечении зернового материала проводили путем оценки угла естественного откоса, который зависит от сил трения, возникающих при перемещении зерновок материала относительно друг друга, и сил сцепления между ними. Угол естественного откоса α определяли на установке, обеспечивающей относительно равномерное истечение материала из воронки на горизонтальную площадку (рис. 1) [14, 15].

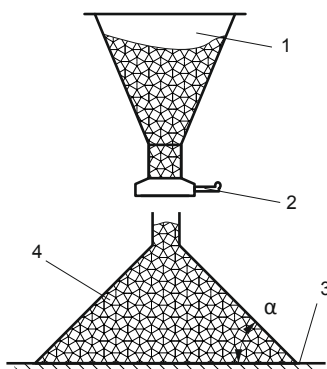


Рисунок 1 – Схема устройства для измерения угла естественного откоса зерновых материалов:
1 – воронка; 2 – выдвижная заслонка; 3 – горизонтальная площадка; 4 – конус, образованный из зернового материала

При изучении углов α зерновой материал из воронки 1 со скоростью выхода из нее, близкой к нулю, посредством регулировки заслонки 2 поступал на горизонтальную ровную шероховатую поверхность 3, на которой образуется конус 4 из зернового материала. Затем с помощью угломера измеряли угол α образующей этого конуса к горизонту.

Для исследований сыпучих свойств зерна в стесненных условиях разработали (на кафедре технологических систем АПК (ФГБОУ ВО «Арктический ГАТУ»)) специальную лабораторную установку, представляющую собой короб с вставленными перегородками (рис. 2).

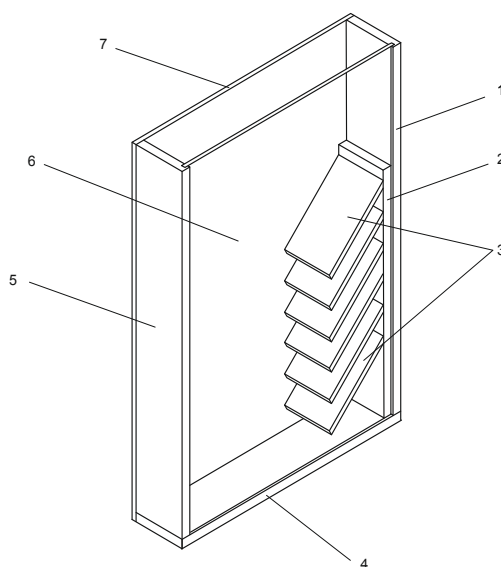


Рисунок 2 – Схема установки для определения проникновения зерна между перегородками:
1 – правая стенка; 2 – накладка; 3 – перегородки; 4 – основание короба; 5 – левая стенка;
6 – прозрачное фронтальное стекло; 7 – фанерный лист

Короб выполнен с размерами 130×870×550 мм и имеет объем 0,03 м³. Для удобства за- сыпки и выгрузки зерна из короба установки он выполнен открытым по всему периметру. Перегородки 3 изготовлены из березовой фанеры размером 235×110×10 мм и выполнены съемно- монтажными и с возможностью установки с различными углами к горизонту и различными рас- стояниями между ними. Выполнение фронтальной части короба прозрачной позволило визу- ально наблюдать за процессом и производить фотосъемки при распределении зерна в коробе.

Положение перегородок 3 определяли с помощью линейки и транспортира. Эксперимен- тальные лабораторные данные обрабатывали при помощи Microsoft Office Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Угол естественного откоса является важным индикатором физического свойства сыпу- чести зерна. В общем, чем меньше значение угла естественного откоса, тем выше сыпучесть зерна. Следует заметить, что хотя угол естественного откоса не является наиболее исчерпыва- ющим свойством сыпучести, он служит характеристикой зерна, удовлетворяющей задачам про- ектирования и разработки зернового оборудования.

Сыпучесть зернового материала через угол естественного откоса может быть представ- лена следующим образом:

- очень сыпучий – 25–30°;
- легко сыпучий – 30–38°;
- достаточно сыпучий – 38–45°;
- связный или нелегко сыпучий – 45–55°;
- очень связный – более 55°.

Практика обращения с зерном показывает, что угол естественного откоса при заполне- нии зерновых емкостей зависит от высоты падения материала (h), производительности запол- нения (т/ч) и скорости падения зерна (м/с). Для основных зерновых культур угол естественного откоса приблизительно равен минимальным значениям углов внутреннего трения.

При исследовании свойств сыпучести зерна важно различать два типа трения: «трение о стенки» или внешнее трение (зерновок по стенкам бункеров) и «внутреннее трение», представ- ляющее собой трение между зерновками материала.

Проектирование аэрационных установок основывается на знаниях о внешнем трении зерновых материалов по опорным поверхностям, но также и на внутреннем трении. Причем знание внутреннего трения необходимо принимать во внимание при заполнении зерновых хра- нилищ и оптимизации размещения аэрационных компонентов. В процессе проведения исследо- ваний были определены предельные значения углов естественного откоса при влажности 14– 16 % (табл.).

Таблица

Угол естественного откоса основных зерновых культур

Культура	Угол естественного откоса, α, град	
	минимум	максимум
Пшеница	23	28
Ячмень	24	30
Овес	31	48

Таким образом, в процессе проведенных исследований сыпучести зерновых материалов с применением конусообразных воронок было установлено, что поток зерна в них не являлся гладким, а в некоторых случаях и вовсе становился прерывистым.

Угол естественного откоса α в традиционных устройствах для определения углов есте- ственного откоса зависит от состояния опорной поверхности, на которой образуется конус. Чем меньше шероховатость этой поверхности, тем меньше угол. Кроме того, высота расположения

течки воронки влияет на образование конуса и поэтому является фактором, повышающим погрешность определения угла естественного откоса.

Угол α является мерой подвижности зерна, и его следует учитывать при конструировании вентиляционных устройств, аэрожелобов, шнеков, норий, лотков, течек, выпускных частей бункеров.

Сыпучесть зерновых материалов зависит от культуры, ее влажности, от плотности зерновок, гранулометрического состава, формы зерновок, состояния их поверхности, содержания примесей и их видового состава, продолжительности хранения без перемещения. Наибольшей сыпучестью обладает зерно шарообразной формы с гладкой поверхностью – просо, горох, сорго, люпин.

С повышением влажности и засоренности сыпучесть зернового материала значительно ухудшалась. При самосогревании зерна его сыпучесть снижалась и могла быть даже совсем потеряна. Уменьшение сыпучести один из признаков неблагополучия с сохранностью зернового материала.

С увеличением нагрузки на зерновой материал сыпучесть его уменьшалась, т. е. значения свойств сыпучести зерна, определенные по традиционным методикам при свободном его истечении, в ряде случаев для решения технических задач аэрирования нецелесообразны.

Сыпучесть зерновых материалов в стесненных условиях определяли в специально разработанной установке (рис. 2) путем расположения перегородок внутри насыпи под разными углами наклона к горизонту. Основным критерием экспериментальных исследований было проникновение зерна в межперегородочное пространство (рис. 3).



Рисунок 3 – Размещение перегородок в зерновой насыпи в разработанной установке:
а – под наклоном с большим расстоянием между ними; б – под наклоном при уменьшенном расстоянии между перегородками

Проведенные эксперименты по определению проникновения зерна в межперегородочное пространство показали, что на исследуемый критерий влияет как расстояние между перегородками, так и угол их наклона к горизонту (рис. 4). С увеличением расстояния между перегородками глубина проникновения зерна увеличивалась независимо от углов наклона перегородок. При этом оптимальные значения угла наклона перегородок находились в пределах 20° . То есть при этих значениях проникновение зерна между перегородки имело минимум.

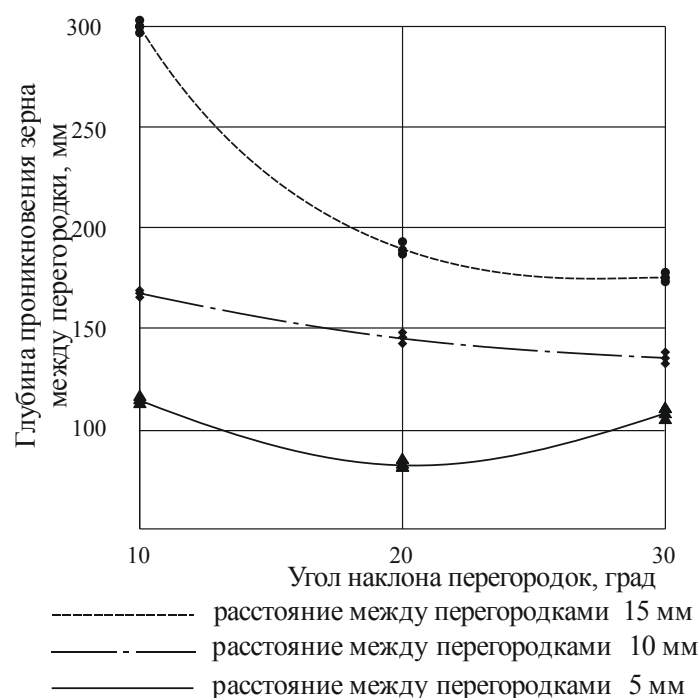


Рисунок 4 – Зависимость глубины проникновения зерна пшеницы между перегородками от расстояния между ними при наклонном расположении перегородок

Таким образом, проведенные эксперименты исследования сыпучести зерна в стесненных условиях показали, что для решения различных задач аэрирования зерна можно подобрать оптимальные значения углов наклона перегородок и расстояний между ними, при которых зерно не будет поступать во внутреннюю полость, образованную перегородками. По результатам данного эксперимента на кафедре технологических систем АПК было разработано техническое решение универсальной аэрационной колонки, которое признано изобретением [16].

Разработанный аэратор зерна колонкового типа включал: колонку 1 в верхней части которой установлен вентилятор 2. Колонка 1 опирается на воздухоподводящий конус 3, соединенный с перфорированной частью колонки 1, выполненной в виде тарельчатых колец 4. Тарельчатые кольца 4 имели большее основание 5 и меньшее основание 6. Диаметр меньшего основания $d_{к1} < d_{к2}$. Тарельчатые кольца были установлены с зазором относительно друг друга и обращены меньшим основанием кверху, причем зазор между кольцами меньше диаметра $d_{к1}$ колец и больше, чем суммарная толщина нескольких элементарных слоев зерновок.

Кольца 4 были установлены на вертикальных шпильках 7 с возможностью вертикального перемещения и изменения зазора между кольцами путем регулировки болтового соединения 8. Угол между образующей колец 4 и горизонталью α больше 10° и меньше 30° , т. е. $10 < \alpha < 30$. Набор колец 4 образовывал внутрикольцевое пространство 9, через которое подводился воздух в зерновую массу.

Процесс аэрирования происходил следующим образом. Воздушный поток, генерируемый вентилятором 2 через колонку 1 и конус 3, попадал во внутреннее кольцевое пространство 9, образованное кольцами 4, откуда через зазоры между кольцами входил в зерновую массу.

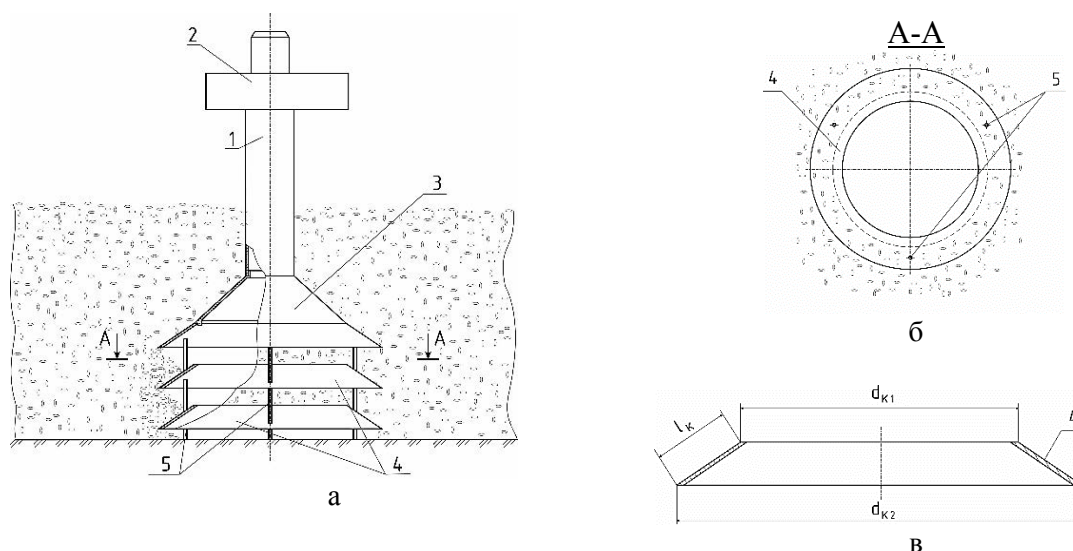


Рисунок 5 – Схема универсального аэратора колонкового типа:
а – вид спереди; б – сечение А-А; в – вид отдельной тарелки

Предварительные испытания разработанного образца аэратора были проведены на семенном зерне пшеницы, урожая 2022 г. в хозяйстве Тумул Мегино-Кангаласского улуса Республики Саха (Якутия). Проведенный эксперимент позволил выявить, что разработанный аэратор по сравнению с аэраторами с решетной перфорированной частью позволял уменьшить энергоемкость, повысил функциональность и эргономичность при аэрировании зерна за счет ввода воздуха в зерновую массу при помощи безрешетных перфорированных устройств.

Заключение

Наука о сыпучих материалах не располагает расчетными формулами, позволяющими вычислять коэффициенты внутризернового трения, поэтому определение углов естественного откоса для разных материалов происходит экспериментальным путем.

Поток зерна в конусообразных воронках традиционных устройств для определения углов естественного откоса, как правило, не является гладким. В процессе экспериментальных исследований установлено, что связь между отдельными потоками зерновых струй и потоком окружающей текучей сыпучей зерновой средой может вызывать прерывистые явления, которые могут придавать выходящему потоку материала прерывистый характер.

На основании проведенных экспериментальных исследований разработано техническое решение универсального аэратора колонкового типа, нижняя перфорированная часть которого выполнена в виде тарельчатых колец, установленных с зазором относительно друг друга, что позволило вводить подаваемый воздух в аэрируемое зерно без решетной части, которыми оснащены традиционные аэраторы, что позволило повысить универсальность аэраторов колонкового типа при аэрировании зерна различных сельскохозяйственных культур, а также уменьшить сопротивление воздушному потоку при вводе воздуха в зерновую массу.

Библиография

1. Аммосов И.Н., Дринча В.М., Борисенко И.Б. Технологические аспекты подавления насекомых-вредителей зерна аэрированием // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 2 (66). – С. 537–544.
2. Navarro S., Noyes R. The mechanics and physics of modern grain aeration management // CRC Press LLC. – 2012. – P. 647.
3. Галкин В.Д., Хандриков В.А., Хавыев А.А. Сепарация семян в вибропневмооживленном слое: технология, техника, использование: монография. – Пермь: Прокрость, 2017. – С. 170.

4. *Смелик В.А., Новиков М.А., Перекопский А.Н. и др.* Послеуборочная обработка зерна и семян в условиях регионов повышенного увлажнения: монография. – СПб.: Изд-во СПбГАУ, 2023. – С. 162.
5. *Попов И.П., Чумакова Л.Я.* Определение меры инертности зернового вороха с учетом его сыпучести // Вестник Курган. ГСХА. – 2018. – № 3. – С. 70–72.
6. *Raretto R., Siliveru K., Casada M.* Shape characteristics and particle size distribution: Effects on flowability and floodability of select grain dust types // published by Elsevier. – 2022. – URL: <https://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/> – P. 36.
7. *Lumay G., Boschini F., Traina K. et al.* Measuring the flowing properties of powders and grains // Powder Technology 224. – 2012. – P. 19–27.
8. *de Ramos J.D.* Determination of the physical and mechanical properties of turmeric (*Curcuma longa* L.) // Philippine Journal of Agricultural and Biosystems Engineering. – 2021. – Vol. 17 (1). – P. 27–38. – DOI: 10.48196/017.01.2021.03
9. *Duran J.* Sands, Powders, and Grains. An Introduction to the Physics of Granular Materials // Springer Science-Business Media New York, 2000. – 226 p.
10. *Plumier B. M., Zhao Y., Casada M. E. et al.* Analysis of corn dust particle properties and how surface roughness influences adhesion // Transactions of the ASABE. – 2020. – N 63 (5). – P. 1493–1497. – DOI: 10.13031/trans.13892.
11. *Жигжитов А.О., Ямпиров С.С., Цыбенков Ж.Б. и др.* Пневмосепарирующая машина с разделением частиц по силе тяжести // Вестник ВСГУТУ. – 2023. – № 1. – С. 53–59.
12. *Лузгин Н.Е., Бирюкова К.В.* Методика и результаты определения угла естественного откоса и коэффициента трения сахарной пудры и ледяных шариков по пищевому алюминию // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК. – 2020. – Ч. 1. – С. 342–349.
13. *Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. и др.* Исследования угла естественного откоса компонентов зерносмеси // Наука в Центральной России. – 2020. – N 5. – С. 31–41.
14. *Макаров Ю.И.* Аппараты для смешения сыпучих материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 215 с.
15. *Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. и др.* Прибор для определения угла естественного откоса сыпучих материалов // Сельский механизатор. – 2020. – N 9. – С. 26–27.
16. Патент RU 2777902. Вертикальный аэратор зерна колонкового типа / Дринча В.М., Дондоков Ю.Ж., Аммосов И.Н. Патентообладатели: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Арктический государственный агротехнологический университет». – 2022. – БИ 23. – С. 7.

Bibliography

1. *Ammosov I.N., Drincha V.M., Borisenko I.B.* Technological aspects of suppressing insect pests of grain by aeration // Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. – 2022. – N 2 (66). – P. 537–544.
2. *Navarro S., Noyes R.* The mechanics and physics of modern grain aeration management // CRC Press LLC. – 2012. – P. 647.
3. *Galkin V.D., Khandrikov V.A., Khavyev A.A.* Seed separation in a vibro-pneumatic fluidized bed: technology, equipment, use: Monograph. – Perm: Publishing center «Prokrost», 2017. –P. 170.
4. *Smelik V.A., Novikov M.A., Perekopskiy A.N. et al.* Post-harvest processing of grain and seeds in regions of high moisture: Monograph. – St. Petersburg.: St. Petersburg State Agrarian University, 2023. – P. 162.
5. *Popov I.P., Chumakova L.Ya.* Determination of inertia limits of a grain heap taking into account its flowability // Vestnik Kurganskoi GShA. – 2018. – N 3. – P. 70–72.
6. *Raretto R., Siliveru K., Casada M.* Shape characteristics and particle size distribution: Effects on flowability and floodability of select grain dust types // Elsevier. – 2023. – Vol. 225. – P. 13–24.
7. *Lumay G., Boschini F., Traina K. et al.* Measuring the flowing properties of powders and grains // Powder Technology. – 2012. – Vol. 224. – P. 19–27.
8. *De Ramos J. D.* Determination of the physical and mechanical properties of turmeric (*Curcuma longa* L.) // Philippine Journal of Agricultural and Biosystems Engineering. – 2021. – Vol. 17 (1). – P. 27–38. – DOI: 10.48196/017.01.2021.03.
9. *Duran J.* Sands, Powders, and Grains. An Introduction to the Physics of Granular Materials // Springer Science-Business Media New York. – 2000. – 226 p.

10. Plumier B. M., Zhao Y., Casada M. E. et al. Analysis of corn dust particle properties and how surface roughness influences adhesion // Transactions of the ASABE. – 2020. – N 63 (5). – P. 1493–1497. – DOI: 10.13031/trans.13892.

11. Zhigzhitov A.O., Yampilov S.S., Tsybenov Zh.B. et al. Pneumatic separation machine with separation of particles by gravity // ESSTUM Bulletin. – 2023. – N 1. – P. 53–59.

12. Luzgin N.E., Biryukova K.V. Methodology and results for determining the angle of repose and the coefficient of friction of powdered sugar and ice balls on food-grade aluminum // Current problems of youth science in the agro-industrial complex development. – 2020. – Part 1. – P. 342–349.

13. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N. et al. Slope of repose research of grain mixture components // Science in the central Russia. – 2020. – N 5. – P. 31–41.

14. Makarov Yu.I. Machinery for mixing bulk materials. – M.: Publishing House «Mechanical Engineering, 1973. – 215 p.

15. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N. et al. Device for determining natural slope of repose of bulk materials // Selskiy Mechanizator. – 2020. – N 9. – P. 26–27.

16. Patent RU 2777902. Vertical grain aerator of core type / Drincha V.M., Dondokov Yu.Zh., Ammosov I.N. Patent holders: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Arctic State Agro-technological University". – 2022. – BI 23. – P. 7.

DOI 10.53980/24131997_2024_2_92

С.Ю. Жачкин¹, д-р. техн. наук, проф., e-mail: zhach@list.ru
Г.И. Трифонов², канд. техн. наук, e-mail: grishakip@yandex.ru
А.В. Пустоветов¹, соискатель, e-mail: trifonov_gi@mail.ru
П.В. Стрункин¹, соискатель, e-mail: trifonov_gi@mail.ru

¹ Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I

² ФГКВОУ ВПО «Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»»
г. Воронеж

УДК 621.357.74

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В работе представлены результаты исследования, направленного на определение рационального состава композитного материала на основе порошка ПР-Х11Г4СР с фракцией 40–64 мкм с добавлением наполнителя карбида титана (TiC) для нанесения покрытий плазменным напылением, обеспечивающим максимальное значение микротвердости и износостойкости.

Для этого был спланирован и реализован многофакторный эксперимент по центральному композиционному рототабельному плану. Были выбраны следующие независимые переменные: размер наполнителя (30–70 мкм) и концентрация наполнителя (10–30 %). В качестве функции отклика приняли прочность сцепления полученного покрытия основой образцов. В ходе исследования были проанализированы морфология и химический состав полученного покрытия из порошка на основе железа и частиц карбида титана. Выявлены аспекты, объясняющие причины улучшения микротвердости получаемого покрытия при плазменном напылении.

Ключевые слова: плазменное напыление, композитное покрытие, микротвердость, износостойкость, карбид титана, эксперимент.

S.Yu. Zhachkin¹, Dr. Sc. Engineering, Prof.

G.I. Trifonov², Cand. Sc. Engineering

A.V. Pustovetov¹, applicant

P.V. Strunkin¹, applicant

¹ Voronezh State Agrarian University of Emperor Peter I

² Federal State state-owned military educational institution of higher professional education «Military Training and Scientific Center of the Air Force «Zhukovsky – Gagarin Air Force Academy»

INCREASING OF WEAR RESISTANCE OF IRON-BASED COMPOSITE COATING WHEN RESTORING SPECIAL EQUIPMENT

The paper presents the results of determining rational composition of composite material based on PR-X11G4SR powder with fraction of 40–64 microns with addition of titanium carbide filler (TiC) for plasma spraying coatings, providing maximum microhardness and wear resistance.

For this purpose, a multivariate experiment on the central composite rotatable plan was designed and implemented. The following independent variables were selected: filler size (30–70 microns) and filler concentration (10–30 %). Adhesion strength of resulting coating to base of the samples was taken as response function. The study analyzed morphology and chemical composition of the obtained coating from iron-based powder and titanium carbide particles. It outlined aspects that explain reasons for improving resulting coating microhardness during plasma spraying.

Key words: plasma spraying, composite coating, microhardness, wear resistance, titanium carbide, experiment.

Введение

Износостойкость является ключевым показателем ресурса для узлов машин, поскольку она непосредственно влияет на их эффективность и долговечность эксплуатации. Механические узлы машин, такие как вал-подшипник, зубчатые колеса, ремни, валы и др., постоянно подвергаются механическим нагрузкам и трению, что приводит к износу их рабочих поверхностей. Улучшение износостойкости данных узлов имеет несколько существенных преимуществ. Во-первых, это увеличивает срок службы машин и оборудования, что позволяет производственным компаниям в значительной мере экономить финансовые средства на проведение ремонта и плановых заменах деталей. Кроме того, увеличение срока службы деталей также способствует снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций, что является значимым фактором для многих промышленных отраслей. Также увеличение износостойкости способствует повышению эффективности и качества производственных процессов. Машины, у которых узлы обладают повышенной износостойкостью, редко ломаются и простаивают, что позволяет оборудованию работать непрерывно и эффективно в течение длительного времени. Это особенно важно в условиях высокой загруженности производственных линий, поскольку даже небольшие простои могут привести к значительным потерям. Так, снижение затрат на обслуживание – важный аспект увеличения долговечности. Машины и специальное оборудование, у которых узлы обладают высокой износостойкостью, требуют меньшего количества регулярного технического обслуживания и замены деталей. Таким образом, можно сократить расходы на запасные части, трудозатраты и время, необходимое для проведения технических работ. В итоге повышение износостойкости позволяет компаниям снизить операционные расходы и увеличить конкурентоспособность на рынке. Необходимо также отметить, что для уменьшения количества отходов, образующихся в процессе производства, необходимо сократить частоту замены деталей и проводить ремонты.

Исследования ученых из России и других стран [1–7] посвящены изучению взаимосвязи между износостойкостью и микротвердостью. Эта связь помогает оптимизировать выбор материалов для конкретных областей применения на основе их физико-механических характеристик. Данные исследования имеют особую ценность в областях, где материалы подвергаются интенсивным механическим нагрузкам.

При изучении износостойкости основной переменной является микротвердость, которая может быть определена различными методами. Один из таких методов – измерение разрушающих свойств материала, таких как упругость, твердость и прочность. С помощью этих методов можно получить числовые значения, которые могут быть применены для анализа взаимосвязи между микротвердостью и износостойкостью.

Одним из основных выводов исследований в области износостойкости и микротвердости является то, что между этими двумя характеристиками существует прямая зависимость. Более твердый материал обычно обладает более высокой износостойкостью, так как его структура и свойства позволяют ему лучше сопротивляться воздействию внешних сил. Таким образом, выбор материала с высокой микротвердостью может значительно повысить его износостойкость и, следовательно, продлить срок его службы.

Цель работы заключалась в определении рационального состава композитного материала на основе порошка ПР-Х1 1Г4СР с фракцией 40–64 мкм с добавлением наполнителя карбида титана (TiC) для нанесения покрытий плазменным напылением, обеспечивающим максимальное значение микротвердости и износостойкости.

Материалы и методы исследования

Плазменная наплавка представляет собой одну из самых распространенных технологий напыления металлических материалов в промышленности. Для нее используют высокоэнергетическую струю для нанесения расплавленных материалов на поверхность подложки [8]. Преимущества этой технологии включают быстрое плавление, низкую стоимость и высокую эф-

фективность, а также хорошую связь с подложкой и возможность локальной селективной обработки поверхности детали [5, 6]. В связи с этим в последние годы плазменная наплавка привлекла широкое внимание ученых и нашла применение в промышленности [9]. Наиболее применимы порошки Co, Ni и сплавов Fe в качестве материалов для наплавки. Хотя материалы на основе Co и Ni обладают хорошей коррозионной стойкостью и высокими характеристиками при высоких температурах, они относительно редки и дороги. Впрочем, дешевые порошки сплавов на основе железа привлекают широкое внимание. Тем не менее, хотя некоторые широко используемые сплавы на основе железа, например, такие как ПР-Х11Г4СР, обладают лучшей электрохимической стойкостью из-за низкого содержания углерода, они также характеризуются низкой твердостью и мягкими поверхностями, что означает низкую трибокоррозионную стойкость и ограничивает их техническое применение в связи с повышенным износом. Поэтому необходимо изучение способов улучшения механических свойств наплавочного покрытия на основе железа, а также определение ключевых аспектов для расширения области его применения.

Все известные методы упрочнения заключаются в том, что работа производится с уже сформировавшимся покрытием, т. е. когда кристаллическая решетка уже сформирована и подвергается внешнему воздействию неких факторов, что часто приводит к образованию трещин, переупрочнению, отслаиванию покрытия и т. д. Отличие исследуемого способа упрочнения материала от других заключается в том, что упрочнение происходит на этапе формирования кристаллической решетки материала покрытия.

При проводимом эксперименте по плазменной наплавке в качестве оборудования использовалась установка плазменного нанесения покрытий УПНС-3040, изображенная на рисунке 1.



Рисунок 1 – Установка для нанесения покрытий плазменным методом

Для достижения поставленной цели был спланирован и реализован многофакторный эксперимент по центральному композиционному рототабельному плану [10, 11], результаты которого представлены в таблице. В результате были выбраны следующие области варьирования независимых переменных:

размер наполнителя (X_1), мкм	30–70
концентрация наполнителя (X_2), %	10–30

Результаты многофакторного эксперимента

Размер наполнителя, мкм	Концентрация наполнителя, %	Адгезия покрытия, МПа
30	10	191
30	30	170
70	10	158
70	30	138
21,71573	20	175
78,28427	20	129
50	5,857864	190
50	34,14214	162
50	20	193
50	20	194

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения предварительных экспериментов было установлено, что на микро-твердость композиционного покрытия, выбранного в качестве параметра оптимизации состава наносимого материала, оказывали влияние два независимых фактора: размер и концентрация наполнителя матрицы.

Таким образом, в качестве функции отклика приняли прочность сцепления полученного покрытия с основой. В итоге было получено уравнение, описывающее зависимость прочности сцепления от размера (X_1) и концентрации наполнителя (X_2) композитного материала:

$$C=91,49+4,33X_1-0,05X_2^2+2,04X_2-0,09X_2^2+0,001X_1X_2. \quad (1)$$

Проверку адекватности выбранной модели производили по критерию Фишера [12].

Анализируя коэффициенты полученной модели по критерию Стьюдента, увидели, что регрессионное уравнение окончательно приняло следующий вид:

$$C=91,49+4,33X_1-0,05X_1^2+2,04X_2-0,09X_2^2. \quad (2)$$

Его графическая интерпретация, представленная на рисунке 2 в виде контуров желательности, наглядно показывала зависимость адгезии от исследуемых параметров.

Определили центр оптимума полученной функции (2), предварительно решив систему уравнений, используя программный комплекс «MathCad»:

$$\frac{d}{dx} f(X_1, X_2) \rightarrow -0,1X_1 + 4,33,$$

$$\frac{d}{dx} f(X_1, X_2) \rightarrow -0,18X_2 + 2,04.$$

Получили: $so\ ln:=lsolve(M,v),so\ ln = \begin{bmatrix} 43,3 \\ 11,33 \end{bmatrix}.$

Таким образом, были найдены координаты оптимума:

$$X_1=43,3 \text{ мкм};$$

$$X_2=11,33 \text{ \%}.$$

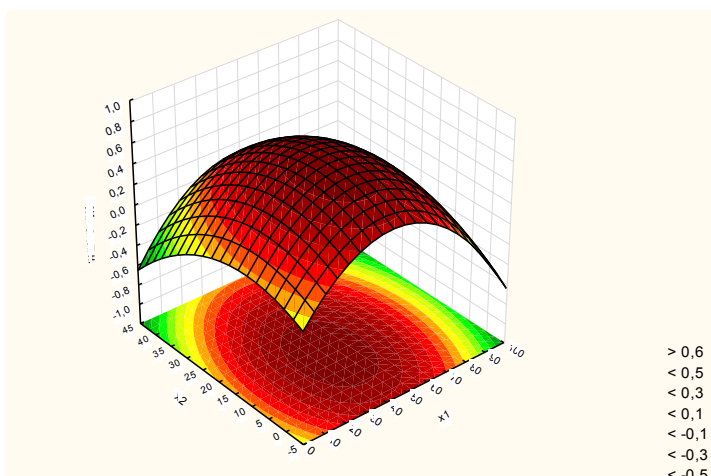


Рисунок 2 – Графическое отображение регрессионной модели в виде графика желательности

Технологические режимы плазменного напыления композитного покрытия были выбраны согласно ранее проведенным исследования с целью получения качественного покрытия [13].

В качестве сырья в этом исследовании использовали порошок самофлюсующегося сплава ПР-Х11Г4СР на основе Fe, полученный методом распыления, и внедряемые частицы TiC чистотой 99,9 %. Морфология и химический состав порошка и внедряемых частиц показаны на рисунке 3.

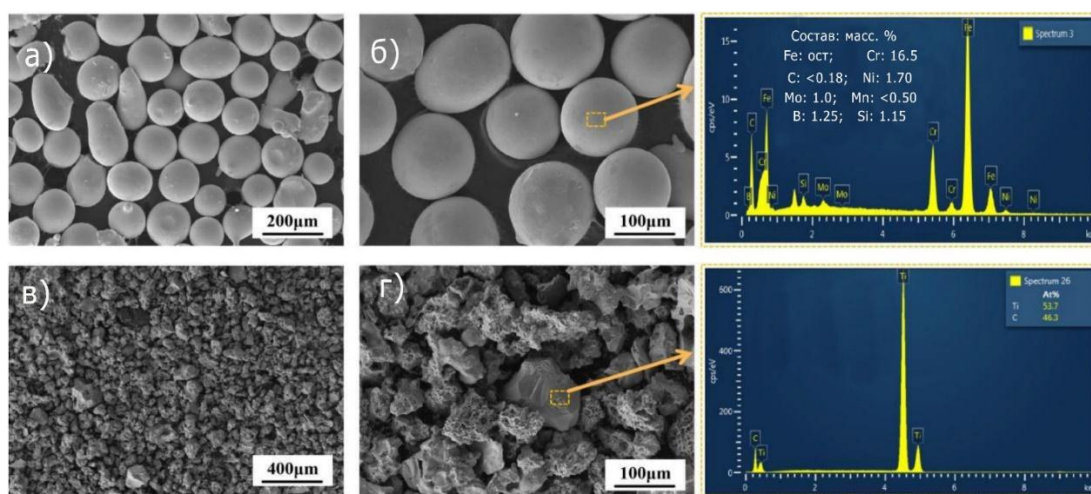


Рисунок 3 – Морфология порошков и химический состав покрытия из порошка на основе Fe (а, б) и частиц TiC (в, г)

Композитный порошок получали путем добавления 11,33 мас. % частиц TiC в порошок для сплава на основе железа. Для достижения равномерного распределения композитный порошок полностью перемешивали в течение 5 ч с помощью шарового фрезерного оборудования и сушили в течение 10 ч при 85 °С в сушильной печи. В качестве материала подложки для этой работы была выбрана конструкционная сталь 45 размером 200×200×10 мм. Перед экспериментом основание шлифовали наждачной бумагой для удаления загрязняющих веществ.

Микротвердость композитного покрытия измеряли на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 10 Н по ГОСТ 9450-76 (СТ СЭВ 1195-78) в поперечном сечении образца. Метод определения микротвердости покрытия заключался в следующем: алмазный наконечник в форме правильной четырехгранной пирамиды вдавливали в участок образца под действием нагрузки. После

удаления нагрузки измеряли диагонали квадратного отпечатка, оставшегося на поверхности образца. Экспериментальные измерения проводили в 16 точках, а затем производили вычисление микротвердости по среднеарифметическому результату измерений. На рисунке 4 показана кривая распределения микротвердости композитного покрытия на основе железа с добавлением карбида титана. Среднее значение микротвердости покрытия составило $703 \pm 17 \text{HV}$, в то время как твердость подложки – $\approx 250 \text{HV}$.

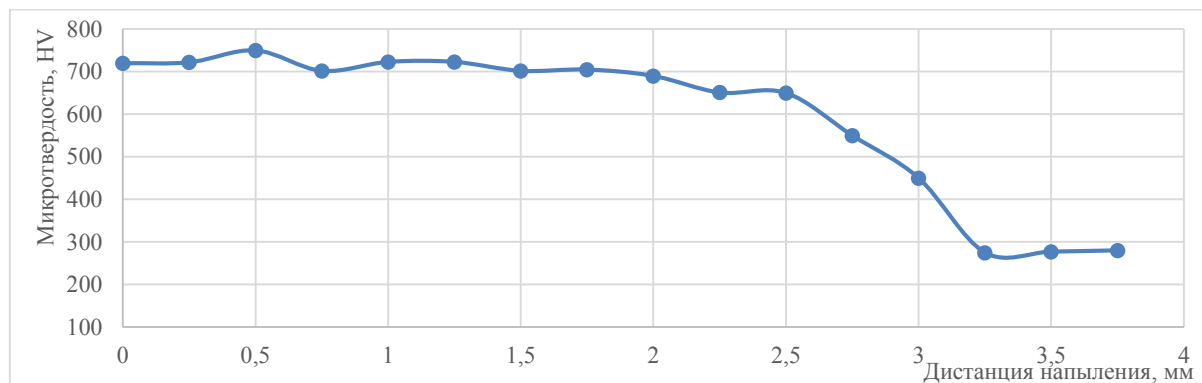


Рисунок 4 – Зависимость микротвердости от дистанции напыления

Можно обнаружить, что микротвердость покрытия значительно снижалась в зоне соединения с подложкой, что указывало на размягчение вблизи подложки. Кроме того, известно [14, 15], что микротвердость обработанного сплава ПР-Х11Г4СР на основе Fe без частиц TiC составляет приблизительно 600 HV. Сравнение показало, что композитное покрытие на основе железа с добавлением TiC, полученное в этом исследовании, обладало относительно более высокой микротвердостью на 17,5 %.

Заключение

Причины улучшения микротвердости композитного покрытия на основе железа можно объяснить следующими аспектами. Во-первых, упрочнение за счет измельчения зерен производится путем введения частиц TiC. Хорошо известна теория Холла – Петча [16], которая объясняет взаимосвязь между микротвердостью мультикристаллических материалов и размером зерен:

$$H = H_0 + kd^{-0,5}, \quad (3)$$

где H – общая прочность измеряемого материала; H_0 – твердость при трении, которая постоянна независимо от размера зерен, k – постоянная величина, d – диаметр зерен.

Из уравнения (3) можно сделать вывод, что микротвердость отрицательно коррелирует с размером зерна. Из-за преимущественного осаждения частиц TiC с высокой температурой плавления, способствующих образованию зародышей, происходит измельчение зерен. Таким образом, твердость композитного покрытия демонстрирует тенденцию к увеличению.

Во-вторых, дисперсионное упрочнение обеспечивается присутствием частиц TiC различных форм. Поскольку частицы TiC сами по себе являются упрочняющей фазой высокой твердости, равномерно диспергированные частицы TiC и лепестковидные частицы TiC могут действовать как эффективный барьер для ограничения перемещения дислокаций, тем самым повышая общую твердость композитного покрытия [17, 18].

В-третьих, дисперсионное упрочнение может быть вызвано образованием эвтектических карбидов и фаз TiC субмикронного размера. Наблюдение за микроструктурой подтверждает существование сетчатой эвтектической структуры и выделений TiC субмикронного размера. Механизм Эшби – Орована [19, 20] свидетельствует о том, что эти вызванные выделения могут

эффективно блокировать движение дислокаций, что приводит к значительному повышению твердости покрытия.

Библиография

1. Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О. и др. Методы исследования материалов: структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий. – М.: Мир, 2004. – 384 с.
2. Mauier G., Schlegel N., Guignard A. et al. Plasma spraying of ceramics with particular difficulties in processing // Journal of thermal spray technology. – 2015. – Vol. 24, N 1, 2. – P. 30–37.
3. Кадырметов А.М. Управление технологическим обеспечением процессов плазменного нанесения покрытий в режиме модуляции электрических параметров. – Воронеж: Изд.-полигр. центр «Научная книга», 2013. – 260 с.
4. Li R.I., Psarev D.N., Malyugin V.A. Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment // Polymer Science. Series D. – 2019. – Vol. 12, N 3. – P. 261–265. – DOI: 10.1134/S1995421219030134.
5. Sharifullin S.N., Pirogova A.S. Improving the quality indicators fuel pump of plasma technology // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 789, N 1. – P. 012051. – DOI: 10.1088/1742-6596/789/1/012051.
6. Крупин А.Е., Тарукин Е.М., Маслов И.М. Износостойкость покрытий при упрочнении зубьев борон электродуговой наплавкой // Вестник ВСГУТУ. – 2018. – № 3 (70). – С. 48–54.
7. Думнов С.Н., Лабаров Д.Б., Болоев П.А. К вопросу восстановления плунжерных пар топливных насосов дизельных двигателей // Вестник ВСГУТУ. – 2014. – № 3 (48). – С. 48–52.
8. Ильющенко А.Ф., Шевцов А.И., Оковитый В.А. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование: монография. – Минск: Белорусская наука, 2011. – 357 с.
9. Пузряков А.Ф. Восстановление изношенных деталей плазменным напылением // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2010. – № 4. – С. 34–39.
10. Бессонов А.С. Методология исследования и планирование эксперимента // Перспективы науки. – 2019. – № 4 (115). – С. 63–65.
11. Ricci P., Theiler C., Fasoli A. et al. Methodology for turbulence code validation: Quantification of simulation-experiment agreement and application to the TORPEX experiment // Physics of Plasmas. – 2011. – Vol. 18, N 3. – P. 032109-11. – DOI: 10.1063/1.3559436.
12. Грачёв Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
13. Трифонов Г.И., Жачкин С.Ю. Влияние технологических режимов плазменного напыления на прочность сцепления покрытия с винтовой основой детали // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2024. – № 3. – С. 29–36. – DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-3-29-35.
14. Трифонов Г.И. Восстановление рабочих поверхностей шнека транспортирующих устройств плазменным напылением износостойкого композитного покрытия: специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2022. – 166 с.
15. Zhukeshov A.M., Pak S.P., Gabdullina A.T. et al. Structure and microhardness of iron alloys after pulse plasma flows processing // Recent Contributions to Physics. – 2016. – N 1(56). – P. 18–25.
16. Малинина Н.А. Структурно аналитическая теория деформации разрушения субмикро и нанокристаллических материалов с микронапряжениями // Наноинженерия. – 2012. – № 5 (11). – С. 37–44.
17. Cai B., Tan Y.-f., He L., et al. Tribological properties of TiC particles reinforced Ni-based alloy composite coatings // Transactions of Non-ferrous Metals Society of China. – 2013. – Vol. 13. – P. 1681–1688.
18. Трифонов Г.И., Пеньков Н.А., Дерканосова А.А. и др. Упрочнение покрытия плазменного напыления дисперсной дополнительной фазой карбида титана // Вестник Воронежского гос. ун-та инженерных технологий. – 2022. – № 84 (3). – С. 191–197. – DOI: 10.20914/2310-1202-2022-3-191-197.
19. Голенков В.А., Яковлев С.П., Головин С.А. и др. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2009. – 442 с.
20. Балданов К.П., Бураев М.К., Рязанов П.Г. К расчету параметров холодного газодинамического напыления деталей машин с использованием установки ДИМЕТ-405 // Вестник ВСГУТУ. – 2019. – № 1 (72). – С. 69–73.

Bibliography

1. *Tushinskiy L.I., Plokhov A.V., Tokarev A.O. et al.* Methods of materials research: Structure, properties and processes of applying inorganic coatings. – M.: Publishing House “Mir”, 2004. – 384 p.
2. *Mauer G., Schlegel N., Guignard. et al.* Plasma spraying of ceramics with particular difficulties in processing // *Journal of thermal spray technology*. – 2015. – Vol. 24, N 1, 2. – P. 30–37.
3. *Kadyrmetov A.M.* Management of technological support of plasma coating processes in the mode of modulation of electrical parameters. – Voronezh: Publishing and Printing center “Scientific Book”, 2013. – 260 p.
4. *Li R. I., Psarev D.N., Malyugin V.A.* Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment // *Polymer Science. Series D*. – 2019. – Vol. 12, N 3. – P. 261–265. – DOI: 10.1134/S1995421219030134.
5. *Sharifullin S.N., Pirogova A.S.* Improving the quality indicators of fuel pump of plasma technology // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2017. – Vol. 789, N 1. – P. 012051. – DOI: 10.1088/1742-6596/789/1/012051.
6. *Krupin A.E. Tarukin E.M., Maslov I.M.* Wear resistance of coatings when strengthening harrows’ teeth by arc surfacing // *ESSTUM Bulletin*. – 2018. – N 3 (70). – P. 48–54.
7. *Dumnov S.N., Labarov D.B., Boloev P.A.* The problem of reconstructing of plunger pair of diesel engine fuel pumps. // *ESSTUM Bulletin*. – 2014. – N 3 (48). – P. 48–52.
8. *Ilyushchenko A.F., Shevtsov A.I., Okovity V.A.* Processes of formation of gas thermal coatings and their modeling: Monograph. – Minsk: Publishing House «Belorusskaya nauka», 2011. – 357 p.
9. *Puzryakov A.F.* Restoration of worn parts by plasma spraying // *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya* – 2010. – N 4. – P. 34–39.
10. *Bessonov A.S.* Research methodology and experiment planning // *Science Prospects*. – 2019. – N 4 (115). – P. 63–65.
11. *Ricci P., Theiler C., Fasoli A. et al.* Methodology for turbulence code validation: Quantification of simulation-experiment agreement and application to the TORPEX experiment // *Physics of Plasmas*. – 2011. – Vol. 18, N 3. – P. 032109–11. – DOI: 10.1063/1.3559436.
12. *Grachyov Yu. P., Plaksin Yu. M.* Mathematical methods of experiment planning. – M.: Publishing House «DeLi print», 2005. – 296 p.
13. *Trifonov G.I., Zhachkin S.Yu.* Influence of technological modes of plasma spraying on adhesion strength of coating to screw base of a part // *Vse Materialy. Entsiklopedicheskii Spravochnik*. – 2024. – N 3. – P. 29–36. – DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-3-29-35.
14. *Trifonov G.I.* Restoration of working surfaces of auger of conveying devices by plasma spraying of wear-resistant composite coating: 05.20.03 «Technologies and maintenance tools in agriculture»: diss. ... Cand. Sc. Engineering. – Voronezh, 2022. – 166 p.
15. *Zhukeshov A.M., Pak S.P., Gabdullina A.T. et al.* Structure and microhardness of iron alloys after pulse plasma flows processing // *Recent Contributions to Physics*. – 2016. – N 1 (56). – P. 18–25.
16. *Malinina N.A.* Structural analytical theory of deformation and fracture of sub-micro and nanocrystalline materials with microstresses // *Nanoengineering*. – 2012. – N 5 (11). – P. 37–44.
17. *Cai B., Tan Y., He L. et al.* Tribological properties of TiC particles reinforced Ni-based alloy composite coatings // *Transactions of Non-ferrous Metals Society of China*. – 2013. – Vol. 13. – P. 1681–1688.
18. *Trifonov G.I., Penkov N.A., Derkanosova A.A. et al.* Instructions for the use of plasma-to-polar phase of titanium carbide // *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. – 2022. – N 84(3). – P. 191–197. – DOI: 10.20914/2310-1202-2022-3-191-197.
19. *Golenkov V.A., Yakovlev S.P., Golovin S.A. et al.* Theory of metal forming by pressure: textbook for universities. – M: Publishing House «Mechanical engineering», 2009. – 442 p.
20. *Baldanov K.P., Buraev M.K., Ryazanov P.G.* To the calculation of the parameters of the cold gas-dynamic spraying of machine parts using the installation dimet-405 // *ESSTUM Bulletin*. – 2019. – N 1 (72). – P. 69–73.

2.1.5 – СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

DOI 10.53980/24131997_2024_2_100

А.С. Кондратенко, канд. техн. наук, докторант, e-mail: cubanit@yandex.ru

В.Т. Буянтуев, аспирант, e-mail: buynt@bk.ru

А.А. Иванов, аспирант, e-mail: vadim290607@gmail.com

П.К. Хардаев, д-р техн. наук, проф.

М.Е. Заяханов, д-р техн. наук, проф.

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

УДК 691.213.2

**К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ФОРСТЕРИТСОДЕРЖАЩЕГО ЛИТЬЯ
ИЗ ХВОСТОВ БОРОИЗВЛЕЧЕНИЯ И СТЕКЛОБОЯ
ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ СПОСОБОМ**

В статье проводится исследование характеристик техногенных отходов в виде хвостов бороизвлечения (Китай) и стеклобоя для установления возможности их совместного использования как сырьевой композиции при производстве каменного форстеритсодержащего литья электродуговым способом. Исследования гранулометрического элементного, химического и минералогического состава сырьевых материалов выполнялись с помощью дисперсионно-гравиметрического, УФ-вид-спектроскопического, микроскопического, энергодисперсионного, а также рентгенофазового анализов. В ходе исследования были установлены истинная плотность, удельная поверхность, гранулометрический, элементный, химический и минералогический (РФА) составы сырья, а также вычислен модуль кислотности расплава, составивший $M_k=2,04$, что позволяет получать литье из двухкомпонентной шихты (хвосты-стеклобой), представленной процентным соотношением 70:30. В процессе электродугового плавления сырьевой композиции получено форстеритсодержащее каменное литье, представляющее собой застывший расплав заданной геометрической формы из форстерита (Mg_2SiO_4) во вмещающей его стеклофазе. Таким образом, проведенный комплекс исследований свидетельствует о пригодности техногенных отходов, представленных хвостами бороизвлечения и стеклобоем для получения из них расплава электродуговым способом, с дальнейшей выработкой из него форстеритсодержащего каменного литья.

Ключевые слова: хвосты бороизвлечения, стеклобой, плотность, гранулометрия, удельная поверхность, элементный, химический, минералогический состав, модуль кислотности, электродуговое плавление, форстеритсодержащее каменное литье.

A.S. Kondratenko, Cand. Sc. Engineering, doctoral student

V.T. Buyantuev, P.G. student

A.A. Ivanov, P.G. student

P.K. Khardaev, Dr. Sc. Engineering, Prof.

M.E. Zayakhanov, Dr. Sc. Engineering, Prof.

East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude

**PROBLEM OF OBTAINING FORSTERITE-CONTAINING CASTING
FROM BORON TAILINGS AND CULLET BY ELECTRIC ARC METHOD**

The article investigates the characteristics of man-made waste in form of boron tailings (China) and cullet to establish the possibility of their joint use as a raw material composition in production stone forsterite-containing casting by electric arc method. It studies of granulometric elemental, chemical and mineralogical composition of raw materials, using dispersion-gravimetric, Ultraviolet-Visible spectroscopic, microscopic, energy dispersion, as well as X-ray phase analyses. The study established true density, specific surface area, granulometric, elemental, chemical and mineralogical (XFA) compositions of raw materials and calculated modulus of acidity of the melt, which amounted to $M_k = 2.04$. It allows casting from two-component charge (tailings-

cullet) represented by percentage ratio of 70:30. In process of electric arc melting of the raw material composition, forsterite-containing stone casting was obtained, which is solidified melt of a given geometric shape made of forsterite (Mg_2SiO_4) in a glass phase. Thus, the conducted complex of studies testifies to the suitability of man-made waste represented by boron recovery tailings and cullet for obtaining a melt from them by electric arc method, with further production of forsterite-containing stone casting.

***Key words:** boron tailings, cullet, density, granulometry, specific surface area, elemental, chemical, mineralogical composition, modulus of acidity, electric arc melting, forsterite-containing stone casting.*

Введение

В последние годы при производстве различных строительных материалов и изделий особое внимание уделяется эффективному использованию техногенных отходов и вторичных ресурсов [1]. Современный промышленный синтез функциональных, конструкционных и технологических материалов образует большое количество некондиционных техногенных отходов [2]. Так, технология промышленного получения бора металлотермией его оксидов и силикатов (метод Муассана) [3] с последующим химическим выщелачиванием и физико-техническим обогащением приводит к накоплению значительных количеств порошкообразных пылеватых отходов так называемых магнийтермических хвостов бороизвлечения [4, 5]. Представленные отходы помимо высокой дисперсности и склонности к пылению являются тугоплавкими веществами, проявляющими высокую дымность при их термической обработке. В силу своей невысокой стойкости к агрессивным агентам (минеральные кислоты), высокой гигроскопичности и химическому выветриванию данные отходы находят весьма ограниченное применение. Кроме того, значительной экологической проблемой являются некондиционные коммунально-бытовые и строительные отходы стеклобоя [6]. Так, стеклобой в виде отходов тарного, посудохозяйственного, оконного, витринного и декоративно-облицовочного стекла с прочим мусором накапливается и складывается на мусорных полигонах и свалках, являясь источником неблагоприятной экологической обстановки, при этом содержание стекла в среднем составляет 8–10 % от общего количества всех отходов. Поэтому особый интерес у многих исследователей вызывает проблема выделения из городских свалок и утилизации отходов стекла [7, 8].

Предварительные эксперименты по электродуговому плавлению техногенных отходов в виде хвостов бороизвлечения и вторичных (попутных) ресурсов – стеклобоя (сырьевая композиция) показали принципиальную возможность получения расплава и выработки из него каменного литья [9].

Поиск новых способов получения форстеритсодержащих строительных материалов и изделий является актуальной задачей для нужд огнеупорной промышленности [10]. Кроме того, значительные характеристики физико-технических свойств, таких как высокий тепловой коэффициент линейного расширения (ТКЛР) схожий с металлами, высокая огнестойкость под нагрузкой (до 1600 °С) предопределили их применение в качестве электротехнического и огнеупорного материала, а также элементов футеровок зон спекания и плавления регенераторов и сталеплавильных печей [11]. Однако сдерживающим фактором при синтезе этих материалов является высокая температура плавления форстерита, достигающая 1890 °С, что усложняет процессы производства [12].

Исходя из этих фактов была сформирована **цель данного исследования** – изучение некоторых наиболее важных характеристик некондиционного сырья (техногенных отходов) в виде хвостов бороизвлечения и стеклобоя и установление возможности их использования как потенциальной сырьевой композиции при производстве литых форстеритсодержащих материалов (камнелитых изделий) методом плавления сырьевой композиции в атмосферной среде с помощью энергии электродуговой плазмы. По сравнению с существующими способами синтеза представленных материалов данный метод более прост в реализации, а поэтому предпочтителен для возможности организации дальнейшего производства [13].

Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили магнийтермические хвосты бороизвлечения (Китай) и местные отходы стеклобоя. В работе было использовано следующее научное оборудование, предоставленное ЦКП «Прогресс» ВСГУТУ, а также БНЦ СО РАН: колба Ле Шателье (Россия); весы электронные Sigma-scale 100/0,001 (США); прибор для определения удельной поверхности порошков ПСХ-2 (Россия); прибор механического рассеивания (анализатор ситовой) А-20 (Россия); УФ-Вид-спектрометр ПЭ-5300 (Россия); растровый электронный микроскоп JSM-6510 LV JEOL (Япония); рентгенофазовый дифрактометр BRUKER (Германия). Минералогический и химический составы были выполнены с помощью микроскопического, спектрального и рентгенофазового анализов. Фракционный состав был изучен ситовым и гравиметрическим методом, а исследование удельной поверхности выполнялось на приборе ПСХ-2. Поскольку отходы бороизвлечения представляют собой порошкообразное вещество, первоначально были исследованы его плотность, фракционный состав и удельная поверхность [14]. Плотность вычислялась объемно-весовым способом с помощью колбы Ле Шателье по формуле 1:

$$\rho = \frac{m}{v}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad (1)$$

где m – масса отхода, израсходованная в эксперименте; v – объем жидкости после всыпания сырья.

Удельная поверхность порошкообразного вещества определялась на приборе ПСХ-2 по формуле 2:

$$S_{\text{уд}} = \frac{KM\sqrt{\tau}}{m}, \text{ см}^2/\text{г}, \quad (2)$$

где K – постоянная прибора для пары рисок, между которыми наблюдалось падение столба жидкости за время τ , с; M – величина, определяемая по измеренным значениям высоты слоя H и температуре воздуха (значения K и M содержатся в паспорте прибора); m – масса навески, г.

Зерновой состав определялся на приборе механического рассеивания с набором сит, представленным в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав и удельная поверхность отхода бороизвлечения

Фракция, мм	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	<0,05
Содержание, %	9,11	6,36	8,86	16,26	46,62	11,02	1,77
Удельная поверхность, см ² /г	1326	1702	2067	2413	2865	3582	5326

Определенная истинная плотность хвостов бороизвлечения составила $\rho = 2763 \text{ кг/м}^3$, а фракционный состав косвенно указывал на значительные преобразования первоначального вещества (термохимическое воздействие, тонкое дробление, химическое выщелачивание, физико-механическое обогащение).

При получении форстеритсодержащего расплава и волокна в качестве сырьевого материала использовались и местные отходы – стеклобой тарного и оконного стекла. Данные отходы для удобства и технологичности применения подвергались дополнительному дроблению в щековой дробилке до получения широких фракций 0–3 мм. Также методом Ле Шателье (по формуле 1) проводилось изучение плотности стеклобоя для решения вопроса о необходимости использования связующих веществ. Определенная истинная плотность стеклобоя приняла значение равное $\rho = 2521 \text{ кг/м}^3$, что составило 91,24 % от плотности хвостов бороизвлечения (приблизительно равноплотные вещества), поэтому данная сырьевая композиция, полученная простым перемешиванием компонентов, не подвержена расслаиванию, а потому не нуждалась в дополнительных связующих веществах.

Следующим этапом исследований стало изучение микроструктуры и вещественного состава сырьевых материалов, проводившееся методами электронной микроскопии и энергодис-

персионного анализа [15]. Микроанализ отходов бороизвлечения (рис. 1) выявил наличие подавляющего большинства мелких, хлопьевидных частиц и немногочисленных крупных зерновых агрегатов. Энергодисперсионный элементный анализ (табл. 2) установил присутствие в отходе следов бора (хвосты породного извлечения), повышенную концентрацию углерода, являющегося реакционным тиглем-изложницей и одновременно элементным агентом, способствующим существенному увеличению выхода бора, высокое содержание магния, являющегося инициатором высокотемпературного механизма извлечения (магнийтермия), а также наличие кремния, алюминия, железа, кальция, калия и натрия как алюмосиликатного скелета борсодержащей породы.

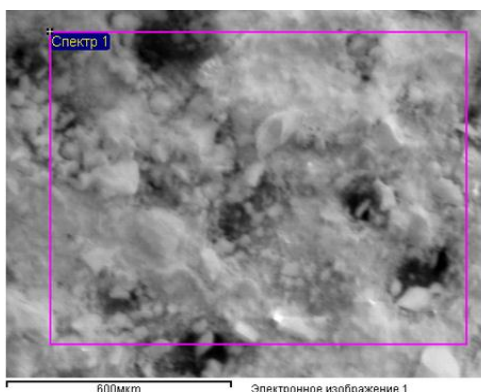


Рисунок 1 – Порошкообразный отход бора, 40×

Таблица 2

Элементный состав отхода бороизвлечения (массовая доля, %)

Вещество	B	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Итог
Массовая доля, %	1,27	10,78	49,31	0,91	21,93	1,33	8,77	0,91	2,18	2,61	100,00

Для проведения исследований микроскопического, элементного и химического составов стеклобоя методом усреднения и квартования была получена аналитическая проба фракции 0,2 мм. Микроанализ стеклобоя (рис. 2) выявил наличие вытянутых призматических зерен-осколков, образованных методом ударного раздавливания. Энергодисперсионный элементный анализ стеклобоя (табл. 3) установил наличие силикатной основы и щелочных и щелочноземельных элементов-плавней, а также их строгое процентное соответствие, необходимое в стекловарении.

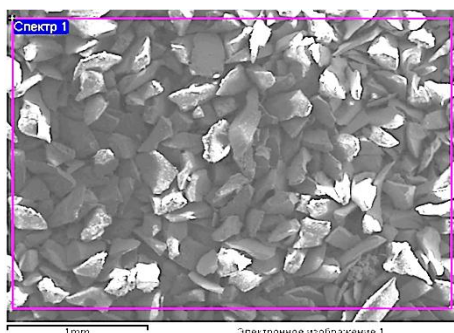


Рисунок 2 – Стеклобой в виде зерен-осколков, 40×

Таблица 3

Элементный состав стеклобоя (массовая доля, %)

Вещество	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Итого
Массовая доля, %	53,10	10,05	1,50	0,69	28,65	0,26	5,75	100,00

Возможности выработки расплава и литья напрямую зависят от химического состава сырьевой композиции, определяющей температуру ее плавления и вязкость расплава [16]. Поэтому дальнейшими исследованиями проводимыми методами физико-химического анализа были установлены химические составы и определены основные компоненты хвостов бороизвлечения и стеклобоя (табл. 4, 5).

Таблица 4

Химический состав в масс % хвостов бороизвлечения

Вещество	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO+Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ППП	Итого
Массовая доля, %	27,48	3,67	4,92	53,21	4,47	1,79	1,55	2,91	100,00

Таблица 5

Химический состав в масс % отходов стеклобоя

Вещество	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Итого
Массовая доля, %	70,46	1,49	2,86	9,23	15,59	0,37	100,00

Химический состав изучаемого сырья показал, что хвосты бороизвлечения на более чем 90 % сложены из оксидов магния и кремния, причем концентрация первого почти в два раза выше, что обуславливает их значительную тугоплавкость, а также косвенно указывает на минералогическую структуру крайнего представителя оливинового ряда форстерита. В ходе анализа проб выявлена небольшая потеря массы при прокаливании, указывающая на наличие влаги и присутствие следов карбонатных минералов в ее составе (влияние выветривания). Силикатный состав стеклобоя, являющийся стандартным для стекловарения при температуре до 1200 °С, дает возможность его применения в качестве легкоплавкой фазы и инициатора плавления сырьевой композиции [17, 18]. Представленные данные о химическом составе исследуемого сырья соответствуют ГОСТ 14832-96 «Изделия огнеупорные форстеритовые и форстеритохромовые. Технические условия».

Завершающим этапом исследований, устанавливающим фазовый состав и структуру, было проведение рентгенофазового анализа сырьевых материалов, представленное на рисунках 3, 4.

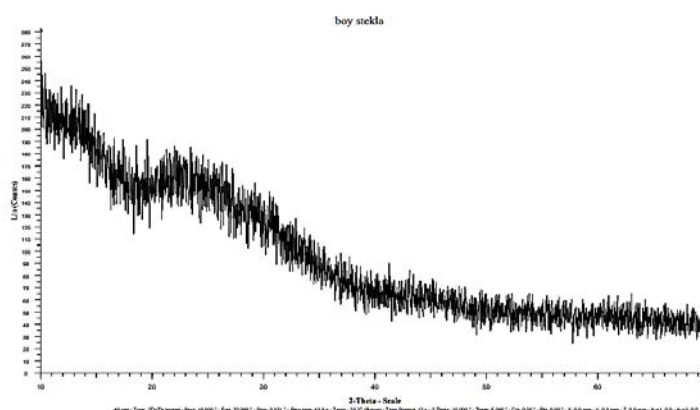


Рисунок 3 – РФА диаграмма стеклобоя, рентгеноаморфная структура (сплошное гало)

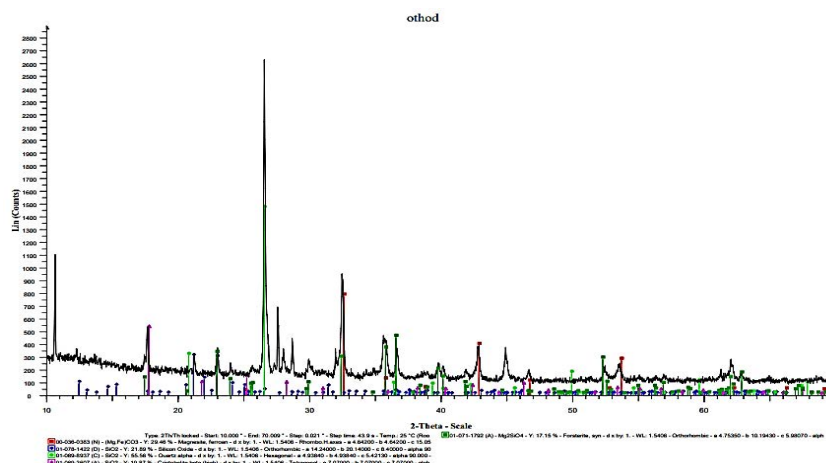


Рисунок 4 – РФА диаграмма хвостов бороизвлечения (представлены кристаллографические фазы карбонатов магния и железа, а также альфа кварца кристобалита и форстерита)

Согласно рентгенофазовому анализу минералогического состава, стекломой обладает сплошным гало, то есть является рентгеноаморфной фазой. Хвосты бороизвлечения сложены кристаллографическими фазами карбонатов (магния и железа), силикатов (оксид кремния, альфа кварц, кристобалит), а также минерала форстерита Mg_2SiO_4 обладающего орторомбической сингонией с параметрами элементарной решетки $a = 0,476$ нм; $b = 1,022$ нм; $c = 0,599$ нм.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований были получены надежные данные по плавлению сырьевой композиции с массовой концентрацией компонентов 70:30 (хвосты бороизвлечения – стекломой) для максимального вовлечения в процесс синтеза оксида магния из отходов бороизвлечения с получением магнийсиликатного расплава и выработкой из него форстеритсодержащего каменного литья [9, 13, 19]. Целью поставленной задачи являлось решение о максимальном использовании борного отхода. Была выполнена серия опытов с отработкой режимов выплавки с использованием электродугового плавильного оборудования, сконструированного в виде электромагнитного технологического реактора [20]. Тепловая энергия в электродуговой зоне камеры реактора генерировалась с помощью плазменно-омического нагрева. Таким образом, эта зона являлась одновременно как зоной генерирования тепловой энергии, так и зоной ее поглощения, позволяя регулировать (путем увеличения или уменьшения силы тока) время плавления сырья в ней [21, 22]. Компоновочная схема установки для электродугового плавления сырьевой композиции показана на рисунке 5.

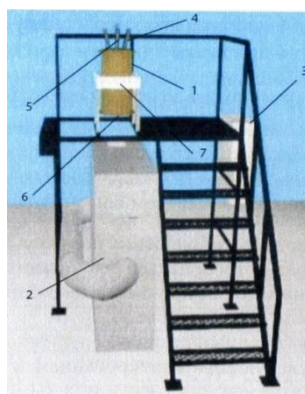


Рисунок 5 – Компоновочная схема оборудования электродуговой плавильной установки:

- 1 – электромагнитный дуговой реактор; 2 – камера волокнообразования; 3 – щит управления;
- 4 – токоподводящие плавильные электроды; 5 – центральный (запирающий) электрод; 6 – летка;
- 7 – серийная обмотка

Электроплазменное плавление сырьевой композиции массой 15 кг проходило спокойно с заметным газовыделением, ориентировочное время для получения расплава составило около 25 мин при мощности реактора 25 кВт. После завершения процесса плавления и образования расплава центральный запорный электрод поднимался и расплав вытекал из летки. Затем при его заливке в опоковые формы (изложница) происходило формирование каменного литья заданной формы [23]. Технологический процесс сливания расплава и его преобразования в литье, а также вид камеры формообразования показаны на рисунках 6, 7.



Рисунок 6 – Момент сливания расплава и его преобразования в волокно

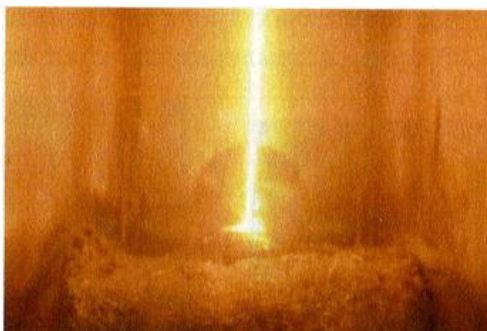


Рисунок 7 – Вид камеры формообразования изнутри.
Сливание струи расплава из летки реактора и ее заливка в форму

Дальнейшие исследования были направлены на изучение морфологических особенностей каменного литья по данным электронной микроскопии; установлении элементного состава методами энергодисперсионного анализа; определение основных компонентов химического состава методами физико-химического анализа с вычислением модуля кислотности литья; а также определение фазово-минералогического состава, основанного на данных рентгенофазового анализа.



Рисунок 8 – Микрофотографии каменного литья с массовым содержанием компонентов 70:30 (хвосты бороизвлечения – стеклобой), 40×

Микроморфология литья позволила сделать вывод о наличии микрокристаллической структуры на его поверхности, образованной плотной упаковкой гексагональных кристаллов со средним размером 200–250 мкм, образованных в процессе кристаллизации расплава при интенсивном теплообмене с окружающей средой (рис. 8). Более детальные исследования, связанные с изучением кристаллической структуры форстеритового расплава и керамики, представлены в работе [24].

Элементный состав литья, выполненный методом энергодисперсионного анализа, выявил в его составе доминирующее содержание таких элементов, как магний, кремний и кислород (магнийсиликатное литье), а также установил двукратное превышение концентрации кремния над магнием. Следовых количеств бора в литье не было обнаружено (не выявляется методами рентгеновской спектральной идентификации). Отсутствие углерода объясняется как способом плавления (заметное газовыделение), так и окислением кислородом воздуха при сливании расплава и выработки из него литья [25]. Элементный состав каменного литья представлен в таблице 6.

Таблица 6

Элементный состав каменного литья (массовая доля, %)

Вещество	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Итого
Массовая доля, %	43,97	4,22	13,22	1,53	27,95	0,71	6,34	2,06	100,00

Следующим этапом было определение основных компонентов химического состава методами физико-химического анализа с вычислением модуля кислотности литья. Данные химического анализа состава каменного литья, выработанного термической плазмой из хвостов бо-роизвлечения и стеклобоя, представлены в таблице 7.

Таблица 7

Химический состав в масс % каменного литья

Вещество	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	FeO+Fe ₂ O ₃	Итого
Массовая доля, %	58,24	2,81	21,35	8,64	5,54	0,84	2,58	100,00

После установления химического состава был произведен расчет модуля кислотности, характеризующего кислотно-основные свойства расплава [26, 27]. Данный модуль использовали для предварительной оценки с целью установления пригодности для выработки расплава и литья и определяли по формуле 3:

$$M_k = \frac{(SiO_2 + Al_2O_3)}{CaO + MgO}, \quad (3)$$

где SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO – содержание основных оксидов, масс. %.

Для получения расплава, способствующего выработке качественного литья, модуль кислотности породы должен входить в интервал значений от 2 до 6 [28]. В рассматриваемом случае $M_k = 2,04$, что позволило получать каменное литье в процессе электродугового плавления из двухкомпонентной шихты, представленной процентным соотношением 70:30.

Заключительным этапом в проведении исследований по изучению структуры литья было определение его фазово-минералогического состава, основанного на данных рентгенофазового анализа, представленного на рисунке 9.

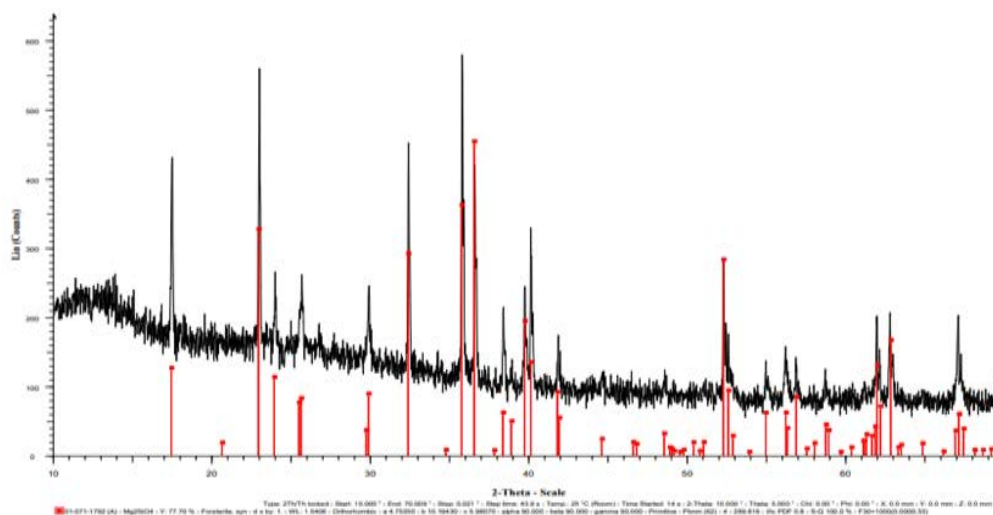


Рисунок 9 – Рентгенограмма форстеритсодержащих волокон, полученных электродуговым способом

Согласно рентгенофазовому анализу минералогического состава, каменное литье содержало единственную кристаллическую фазу с четко обозначенными дифракционными максимумами форстерита (Mg_2SiO_4). Количество данной фазы составило 77,70 %. Также на рентгенограмме присутствовала и аморфная, стеклянная фаза (остаток), как бы заключая в себе (расплав и литье) кристаллическую фазу (форстерит), тем самым являясь вмещающей фазой.

Заключение

В ходе проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Вычислена действительная плотность, удельная поверхность, гранулометрический, элементный, химический и минералогический (РФА) составы сырьевой композиции, состоящей из хвостов бороизвлечения и стеклобоя. Установлено повышенное содержание оксидов магния и кремния, натрия и кальция, обуславливающих как образование форстеритовой фазы в структуре каменного литья, так и стабильность процесса плавления и формообразования. Приблизительно равные плотности сырьевых материалов позволили обойтись без применения связующих веществ. Высокое содержание оксидов магния косвенно указывало на то, что состав полученного расплава и литья будет аморфно-кристаллическим (форстерит во вмещающей его стеклофазе).

2. Вычислен модуль кислотности расплава, который составляет $M_k = 2,04$, что позволяет получать каменное литье в процессе электродугового плавления из двухкомпонентной шихты, представленной процентным соотношением 70:30.

3. В электродуговой установке, сконструированной по типу электромагнитного реактора, получен двухкомпонентный расплав, состоящий из хвостов бороизвлечения и стеклобоя, из которого методом заливки в опоковые формы выработано форстеритсодержащее каменное литье, заданной геометрической формы. Данный тип реактора способен генерировать температуру до 3000 °С, достаточную для плавления сырьевых материалов (до 1500 °С) с низкими энерготратами ($\approx 1,3$ кВт·ч/кг), что значительно упрощает процесс плавления сырья.

Таким образом, проведенный комплекс исследований свидетельствует о пригодности техногенных отходов, представленных хвостами бороизвлечения и стеклобоя для получения из них расплава электродуговым способом, с дальнейшей выработкой из него форстеритсодержащего огнеупорного каменного литья.

Библиография

1. Аганов А.А., Глухов С.Ю., Журкович В.В. и др. Обращение с твердыми коммунальными и промышленными отходами. Вопросы моделирования и прогнозирования. – СПб.: Лань, 2023. – 352 с.
2. Никольский К. С., Сачков А. Н. Твердые промышленные, бытовые и сельскохозяйственные отходы. Их свойства и переработка. – М.: ВНИПТИОУ, 2008. – 116 с.
3. Morachevskii A.G. Henri Moissan (To 150th Anniversary of His Birthday) // Russian Journal of Applied Chemistry, 2002. – N 75 (10). – P. 1720–1722. – DOI:10.1023/A:1022268927198.
4. Liu L., Liu P., He G. Ignition and combustion characteristics of compound of magnesium and boron // J. Therm. Analitical. Calorim, 2015. – Vol. 121, N 3. – P. 1205–1212.
5. Немодрук А.А., Каралова З.К. Аналитическая химия Бора. – М.: Наука, 1964. – С. 283.
6. Bisikirske D., Blumberga D., Vasarevicius S. et al. Multicriteria Analysis of Glass Waste Application // Environmental and Climate Technologies. 2019. – Vol. 23, N 1. – P. 152–167. – DOI: 10.2478/rtuct-2019-0011.
7. Sadiqul Islam G.M. [et al.]. Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice // International Journal of Sustainable Built Environment. – 2017. – N 6. – P. 37–44. – DOI: 10.1016/j.ijse.2016.10.005.
8. Саркисов П.Д., Чернякова Р.М., Петров П.Д. Извлечение стекла из твердых городских отходов // Стекольная промышленность. – 1986. – Вып. 8. – С. 13–15.
9. Buyantuev S. L., Guiling N., Kondratenko A. S. et al. Waste Industrial Processing of Boron-Treated by Plasma Arc to Produce the Melt and Fiber Materials // Lecture Notes in Electrical Engineering 365. – 2016. – Chapter 38.
10. Andrianov N.T., Strel'nikova S.S., Dyagilets S.M. Forsterite ceramics based on sol-gel powders // Стекло и керамика. – 2004. – N 1. – P. 15–17.
11. Зу Х., Вей И., Денг Ч. Синтез MgO-SiC-C огнеупорного композитного порошка на основе форстерит-С сырья // Огнеупоры и техническая керамика. – 2011. – № 1–2. – С. 84–86.
12. Nguyen M., Sokolar R. The influence of the raw materials mixture on the properties of forsterite ceramics // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 385. – P. 012039.
13. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Ушков В.А. и др. Получение стеклокерамики системы MgO-SiO₂ методом плазменной плавки // Письма в ЖТФ. – 2022. – Т. 48, вып. 24. – С. 15–18. – DOI: 10.21883/PJTF.2022.24.54017.19278.
14. Гавриленко В.В. Современные методы исследования минералов, горных пород и руд. – СПб.: Изд-во СПб. горного ин-та, 1997. – 137 с.
15. Burgess S., Li Xiaobing, Holland J. High spatial resolution energy dispersive X-ray spectrometry in the SEM and the detection of light elements including lithium // Microscopy and Analysis. – John Wiley & Sons, Ltd. – 2013. – Vol. 27 (4). – P. 8–13.
16. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. – М.: Феникс, 2007. – С. 368.
17. Кетов А.А., Кетова Г.Б., Пузанов А.И. и др. Стеклобой как сырье для получения теплоизоляционного материала // Экология и промышленность России. – 2002. – № 8. – С. 17–20.
18. Китайгородский И. И., Сильвестрович С. И. Справочник по производству стекла. – М.: Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – С. 1130.
19. Саркисов П. Д. Направленная кристаллизация стекла – основа получения многофункциональных стеклокристаллических материалов. – М.: Изд-во РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1997. – 218 с.
20. Буянтуев С. Л., Кондратенко А. С. Исследование физико-химических свойств минеральных волокон, полученных с помощью электромагнитного технологического реактора // Вестник ВСГУТУ. – 2013. – № 5 (44). – С. 123–129.
21. Никифоров А.А., Маслов Е.А., Скрипникова Н.К. и др. Исследование плазменной технологии получения силикатных тугоплавких расплавов // Теплофизика и аэромеханика – 2009. – Т. 16. – № 1. – С. 159–163.
22. Волокитин О.Г., Верецагин В.И. Особенности физико-химических процессов получения высокотемпературных силикатных расплавов // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 8. – С. 71–76.

23. Буянтуев С.Л., Урханова Л.А., Хмелев А.Б. и др. Переработка золошлаковых отходов электродуговой плазмой для получения композиционных строительных материалов // Вестник ВСГУТУ. – 2016. – № 4 (61). – С. 19–27.
24. Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Куниц О.А. Плазменная технология синтеза форстеритового материала // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 166–175. – DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-166-175.
25. Буянтуев С.Л., Урханова Л.А., Кондратенко А.С. и др. Исследование свойств базальтоволоконистых полужестких плит, полученных с помощью электромагнитного технологического реактора // Вестник ВСГУТУ. – 2015. – № 1 (52). – С. 44–51.
26. Хан Б.Х., Строщенко М.Б. Оценка технологических характеристик петруггических расплавов при использовании пироксенового модуля // Сб. ст. «Проблемы каменного литья». – Киев: Наукова Думка, 1975. – С. 184–192.
27. Худякова Л.И., Буянтуев С.Л., Буянтуев В.Т. Местное сырье для производства минерального волокна // Строительные материалы. – 2022. – № 12. – С. 6–9. – DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-809-12-6-9>.
28. Буянтуев С.Л., Кондратенко А.С., Буянтуев В.Т. и др. К вопросу получения каменного литья из базальта местного месторождения электродуговым способом // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2023. – № 4 (91). – С. 87–95.

Bibliography

1. Aganov A.A., Glukhov S.Yu., Zhurkovich V.V. et al. Management of solid municipal and industrial waste. Issues of modeling and forecasting. – St. Petersburg: Publishing House “Lan”, 2023. – 352 p.
2. Nikolskiy K.S., Sachkov A.N. Solid industrial, household and agricultural waste. Their properties and processing. – M.: Russian Research Design and Technology Institute of Organic Fertilizers, 2008. – 116 p.
3. Morachevskii A.G. Henri Moissan (To 150th Anniversary of His Birthday) // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2002. – N 75 (10). – P. 1720–1722. – DOI:10.1023/A:1022268927198.
4. Liu L., Liu P., He G. Ignition and combustion characteristics of the compound of magnesium and boron // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2015. – Vol. 121, N 3. – P. 1205–1212.
5. Nemodruk A.A., Karalova Z.K. Analytical chemistry of Boron. – M.: Publishing House “Nauka”, 1964. – P. 283.
6. Bisikirske D., Blumberga D., Vasarevicius S. et al. Multicriteria Analysis of Glass Waste Application // Environmental and Climate Technologies. – 2019. – Vol. 23, N 1. – P. 152–167. – DOI: 10.2478/rtuect-2019-0011.
7. Sadiqul Islam G.M. [et al.]. Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice // International Journal of Sustainable Built Environment. – 2017. – N 6. – P. 37–44. – DOI: 10.1016/j.ijse.2016.10.005.
8. Sarkisov P.D., Chernyakova R.M., Petrov P.D. Extraction of glass from municipal solid waste // Glass industry. – 1986. – Vol. 8. – P. 13–15.
9. Buyantuev S. L., Guiling N., Kondratenko A. S. et al. Waste Industrial Processing of Boron-Treated by Plasma Arc to Produce the Melt and Fiber Materials // Lecture Notes in Electrical Engineering 365. – 2016. – Chapter 38.
10. Andrianov N.T., Strelnikova S.S., Dyagilets S.M. Forsterite ceramics based on sol-gel powders // Glass and Ceramics. – 2004. – N 1. – P. 15–17.
11. Zhu H., Wei Y., Deng C. et al. Synthesis of MgO-SiC-C refractory composite powder based on forsterite-C raw materials // Refractories and Technical Ceramics. – 2011. – N 1–2. – P. 84–86.
12. Nguyen M., Sokolar R. The influence of the raw materials mixture on the properties of forsterite ceramics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 385. – P. 012039.
13. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Ushkov V.A. et al. Preparation of glass ceramics of the MgO–SiO₂ system by plasma melting // Technical Physics Letters. – 2022. – Vol. 48, Iss. 24. – P. 15–18. – DOI: 10.21883/PJTF.2022.24.54017.19278.
14. Gavrilenko V.V. Modern methods for studying minerals, rocks and ores. – St. Petersburg: Publishing House of the St. Petersburg Mining Institute, 1997. – 137 p.

15. Burgess S., Li Xiaobing, Holland J. High spatial resolution energy dispersive X-ray spectrometry in the SEM and the detection of light elements including lithium // *Microscopy and Analysis*. – John Wiley & Sons, Ltd. – 2013. – Vol. 27 (4). – P. 8–13.
16. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Construction materials from industrial waste. – M.: Publishing House “Phoenix”, 2007. – P. 368.
17. Ketov A.A., Ketova G.B., Puzanov A.I. et al. Cullet as raw material for production of heat-insulating material // *Ecology and Industry of Russia*. – 2002. – N 8. – P. 17–20.
18. Kitaygorodsky I.I., Silvestrovich S.I. Handbook on glass production. – M.: State Publishing House of Literature on Construction, Architecture and Construction Materials, 1963. – P. 1130.
19. Sarkisov P.D. Directional crystallization of glass – the basis for the production of multifunctional glass-crystalline materials. – M.: Mendeleev University of Chemical Technology, 1997. – 218 p.
20. Buyantuev S.L., Kondratenko A.S. Physical and chemical properties of mineral fibres obtained by electromagnetic process reactor // *ESSUTM Bulletin*. – 2013. – N 5 (44). – P. 123–129.
21. Nikiforov A.A., Maslov E.A., Skripnikova N.K. et al. Study of plasma technology for producing silicate refractory melts // *Thermophysics and Aeromechanics*. – 2009. – Vol. 16, N 1. – P. 159–163.
22. Volokitin O.G., Vereshchagin V.I. Features of physicochemical processes for producing high-temperature silicate melts // *Izvestia vuzov. ChemChem Tech*. – 2013. – Vol. 56. – N 8. – P. 71–76.
23. Buyantuev S.L., Urkhanova L.A., Khmelev A.B. et al. Ash waste processing by the electric arc plasma to obtain composite building materials // *ESSUTM Bulletin*. – 2016. – N 4 (61). – P. 19–27.
24. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Kunts O.A. Plasma technology for synthesis of forsterite material // *Journal of Construction and Architecture*. – Tomsk, 2023. – Vol. 25. – N 1. – P. 166–175. – DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-166-175.
25. Buyantuev S.L., Urkhanova L.A., Kondratenko A.S. et al. Investigation of basaltfibrous semi-rigid slabs obtained by electromagnetic process reactors // *ESSUTM Bulletin*. – 2015. – N 1 (52). – P. 44–51.
26. Khan B.Kh., Stroshchenko M.B. Assessment of technological characteristics of petrurgical melts using pyroxene module. Collection of articles: Problems of stone casting. – Kiev: Publishing House “Naukova Dumka”, 1975. – P. 184–192.
27. Khudyakova L.I., Buyantuev S.L., Buyantuev V.T. Local raw materials for mineral fiber production // *Stroitel'nye Materialy (Construction materials)*. – 2022. – N 12. – P. 6–9. – DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-809-12-6-9>.
28. Buyantuev S.L., Kondratenko A.S., Buyantuev V.T. et al. On issue of obtaining stone casting from basalt local deposits by electroarc method // *ESSUTM Bulletin*. – 2023. – N 4 (91). – P. 87–95.

DOI 10.53980/24131997_2024_2_112

С.А. Лхасаранов¹, канд. техн. наук, доц., e-mail: solbon230187@mail.ru

Л.А. Урханова^{1,2}, д-р техн. наук, проф., e-mail: urkhanova@mail.ru

А.А. Иванов¹, аспирант, e-mail: vadim290607@gmail.com

Н.Н. Смирнягина¹, д-р техн. наук, доц., e-mail: smirnyagina09@mail.ru

П. Сэргэлэн³, канд. техн. наук, доц., e-mail: psergee@must.edu.mn

¹ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва

³ Монгольский государственный университет науки и технологий, г. Улан-Батор

УДК 691.542

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА

В статье представлены результаты исследования по получению композиционных вяжущих для гидротехнического бетона. В качестве активной минеральной добавки для композиционного цементного вяжущего был использован стекловидный перлит Мухор-Талинского месторождения Республики Бурятия. Определена пуццоланическая активность стекловидного и закристаллизованного перлитов. Проведена оценка физико-механических свойств и фазового состава известково-перлитовых вяжущих автоклавного твердения для последующей оценки и идентификации гидратных фаз композиционного цементного вяжущего. Проведен рентгенофазовый анализ портландцемента и композиционного вяжущего со стекловидным перлитом с удельной поверхностью 600 м²/кг. Выявлено, что использование активной минеральной добавки на основе стекловидного перлита приводит к повышению количества низкоосновных гидросиликатов кальция в цементном камне. Проведен электронно-микроскопический анализ композиционных вяжущих для бетона гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: портландцемент, стекловидный перлит, прочность при сжатии, гидротехнический бетон, фазовый состав, микроструктура.

S.A. Lkhasaranov¹, Cand. Sc. Engineering, Associate Prof.

L.A. Urkhanova^{1,2}, Dr. Sc. Engineering, Prof.

A.A. Ivanov¹, P.G. student

N.N. Smirnyagina¹, Dr. Sc. Engineering, Associate Prof.

P. Sergelen³, Ph.D., Associate Prof.

¹ East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude

² Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow

³ Mongolian State University of Science and Technology, Ulaanbaatar

RESEARCH OF PHASE COMPOSITION OF COMPOSITE BINDERS FOR HYDRAULIC CONCRETE

The article studies production of composite binders for hydraulic concrete. Vitreous perlite from the Mukhor-Tala deposit of the Republic of Buryatia was used as an active mineral additive for the composite cement binder. Pozzolanic activity of vitreous and crystallized perlites was determined. Assessment of physical and mechanical properties and phase composition of autoclave-cured lime-perlite binders were carried out for subsequent assessment and identification of the hydrate phases of the composite cement binder. An X-ray phase analysis of Portland cement and a composite binder with vitreous perlite with a specific surface area of 600 m²/kg was carried out. The study established that use of active mineral additive based on glassy perlite leads to increase in amount of low-basic calcium hydrosilicates in cement stone. Electron microscopic analysis of composite binders for concrete hydraulic structures was carried out.

Key words: *portland cement, vitreous perlite, compressive strength, hydraulic concrete, phase composition, microstructure.*

Введение

Обеспечение заданных показателей качества бетонов для гидротехнического строительства требует применения вяжущих веществ, отличающихся минеральным составом и специальным набором свойств для учета массивности конструкций, расположения их относительно уровня воды и степени агрессивности водной среды [1–6]. Применение различных активных минеральных добавок природного и техногенного происхождения изучалось ранее многими исследователями [7–13]. При этом использование активных минеральных добавок может приводить к различным эффектам: снижению тепловыделения, повышению коррозионной стойкости, устранению отрицательного воздействия высокого температурного градиента при гидратации вяжущего, изменению физико-механических свойств [1, 2, 6, 14, 15].

Поскольку композиционные вяжущие представляют собой сложные многокомпонентные системы и их твердение происходит на разных масштабных уровнях, это затрудняет однозначное понимание явлений в твердеющих системах. Использование физико-химических методов исследования позволит аргументировано объяснять и уточнять механизмы взаимодействия между компонентами вяжущих систем [7, 12, 16]. Исследование фазового состава и микроструктуры композиционных вяжущих для гидротехнического бетона позволит выявить оптимальные составы вяжущих веществ, обеспечить заданный набор требуемых физико-механических показателей.

В связи с этим целью работы является исследование фазового состава композиционного вяжущего для гидротехнического бетона на основе портландцемента, стекловидного и закристаллизованного перлита.

Материалы методы исследования

В исследовании в качестве вяжущего использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ООО «Тимлюйцемент» состава, %: C_3S – 66,7, C_2S – 12,6, C_4AF – 12,2, C_3A – 6,3; нормальная плотность 25,25 %.

В качестве тонкодисперсных минеральных добавок использовались стекловидный и закристаллизованный перлиты Мухор-Талинского месторождения (Республика Бурятия). Содержание стеклофазы в составе стекловидного перлита составляет около 80 %. На рентгенограммах отмечается один небольшой пик с $d/n = 3,29\text{Å}$, относимый к минералу санидину. В закристаллизованном перлите содержание стеклофазы составляет до 40 %. Кристаллические фазы закристаллизованного перлита представлены минералами тридимитом, кристобалитом, санидином и альбитом [17].

Исследование пуццоланической активности стекловидного и закристаллизованного перлита определяли по количеству поглощенного CaO из насыщенного раствора гидроксида кальция одним граммом добавки при нагревании, согласно ГОСТ 25592-2019. Из предварительно высушенной пробы добавки отвешивали навеску массой 1 г. В полученную навеску заливали 100 мл насыщенного раствора гидроксида кальция и выдерживали при температуре 85–90 °С в течение 8 ч. Затем прекращали нагрев и оставляли пробу на 15 ч для остывания до температуры 20 °С. После отбирали 50 мл раствора и титровали в присутствии метилового оранжевого 0,1Н раствором соляной кислоты.

Стекловидный перлит предварительно измельчался в лабораторном виброистирателе ВИ-4х350 до удельной поверхности – 300–800 м²/кг, определяемой методом воздухопроницаемости через слой материала на приборе ПСХ-2. В роли водоредуцирующей добавки использовался суперпластификатор «Полипласт ПК тип S» на основе модифицированных поликарбоксилатов (ООО «Полипласт-Сибирь»), вводимый в состав цемента с водой затворения.

Образцы размером 2×2×2 см изготавливали из цементного теста нормальной плотности. Прочность образцов при сжатии определяли на гидравлическом прессе П-10. Микроструктуру

образцов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа «JEOL JSM-6510LV» на базе центра коллективного пользования «Прогресс» ВСГУТУ, фазовый состав исследовали на рентгеновском дифрактометре в Монгольском государственном университете науки и технологий (г. Улан-Батор).

Результаты исследования и их обсуждение

При выборе вида активной минеральной добавки важно оценить ее пуццоланическую активность, т. е. способность минеральной добавки вступать в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция и увеличивать количество гидросиликатов кальция. Оценка пуццоланической активности перлита (табл. 1) показала, что стекловидный перлит обладал средними пуццоланическими свойствами, в то время как закристаллизованный перлит был отнесен к добавкам с низкими пуццоланическими свойствами. При взаимодействии стекловидного и закристаллизованного перлита с насыщенным раствором гидроксида кальция происходило образование низкоосновных гидросиликатов кальция (C-S-H) в результате чего концентрация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в растворе снижалась.

Таблица 1

Пуццоланическая активность перлита

Наименование АМД	Концентрация СаО в растворе, мг/г
Стекловидный перлит	31,08
Закристаллизованный перлит	24,92

Для выявления фазового состава продуктов гидратации вяжущих материалов был запланирован и реализован комплексный метод физико-химических исследований, включающий определение прочности при сжатии вяжущих на основе перлита с различной удельной поверхностью и известью, подвергнутых автоклавной обработке (табл. 2). Содержание извести во всех составах составило 10 % по массе. После определения прочности при сжатии, состав с наибольшей прочностью был исследован на рентгеновском дифрактометре для выявления образованных в результате гидратации фаз.

Таблица 2

Прочность при сжатии известково-перлитовых вяжущих после автоклавной обработки

Состав вяжущего	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
Стекловидный перлит 90 % ($S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$)+известь 10 %	1890	7,6
Стекловидный перлит 90 % ($S_{уд}=450 \text{ м}^2/\text{кг}$)+известь 10 %	1960	10,4
Стекловидный перлит 90 % ($S_{уд}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$)+известь 10 %	1660	11,2
Стекловидный перлит 90 % ($S_{уд}=800 \text{ м}^2/\text{кг}$)+известь 10 %	1600	13,2

Анализ рентгенограммы (рис. 1) показал, что известково-перлитовое вяжущее твердеет в условиях автоклавирования с образованием низкоосновного гидросиликата кальция – тоберморита (d/n 3,07; 3,54 Å). На рентгенограмме идентифицируются пики, соответствующие цеолитоподобным фазам – гейландиту (d/n 2,96; 3,11; 4,00; 4,25; 4,29; 8,88 Å) и мордениту (d/n 3,14; 3,29; 3,79; 4,09; 4,15 Å).

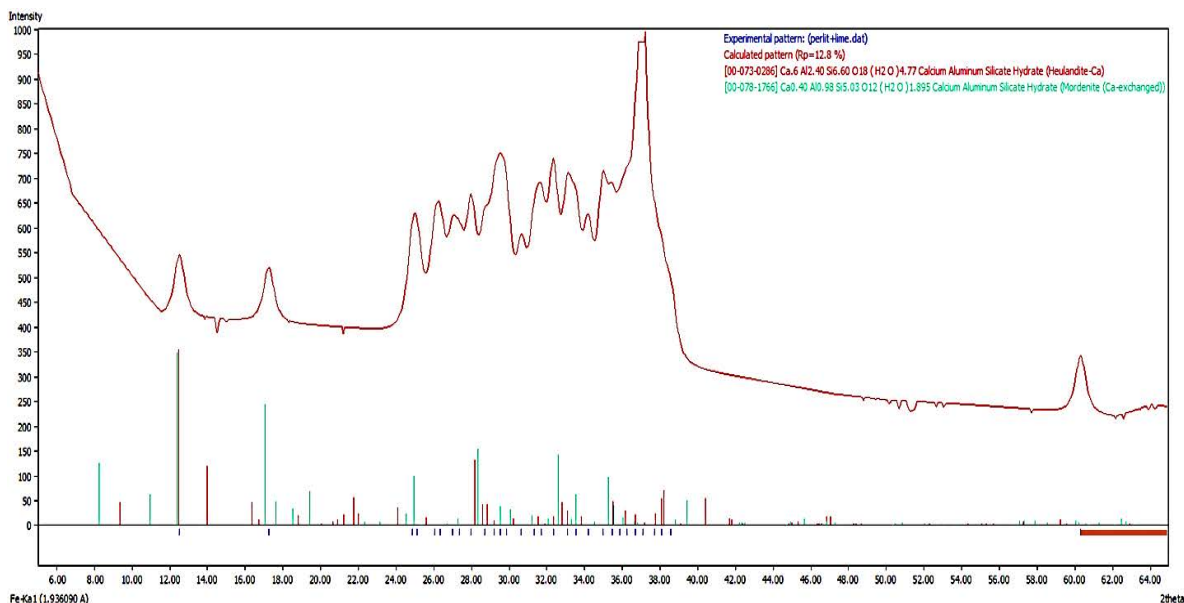


Рисунок 1 – Рентгенограмма известково-перлитового вяжущего (стекловидный перлит 90 % ($S_{уд}=800 \text{ м}^2/\text{кг}$) + известь 10 %)

Авторами ранее в работах [14, 15] были определены физико-механические свойства композиционных вяжущих с различными видами перлита и степенью дисперсности. Для исследуемых вяжущих было характерно увеличение прочности при сжатии по мере увеличения степени дисперсности перлита. Для состава с наиболее высокими показателями (ПЦ+20 % стекловидного перлита, удельная поверхность $600 \text{ м}^2/\text{кг}$) по прочности и контрольного бездобавочного портландцемента был проведен рентгенофазовый анализ (рис. 2, 3).

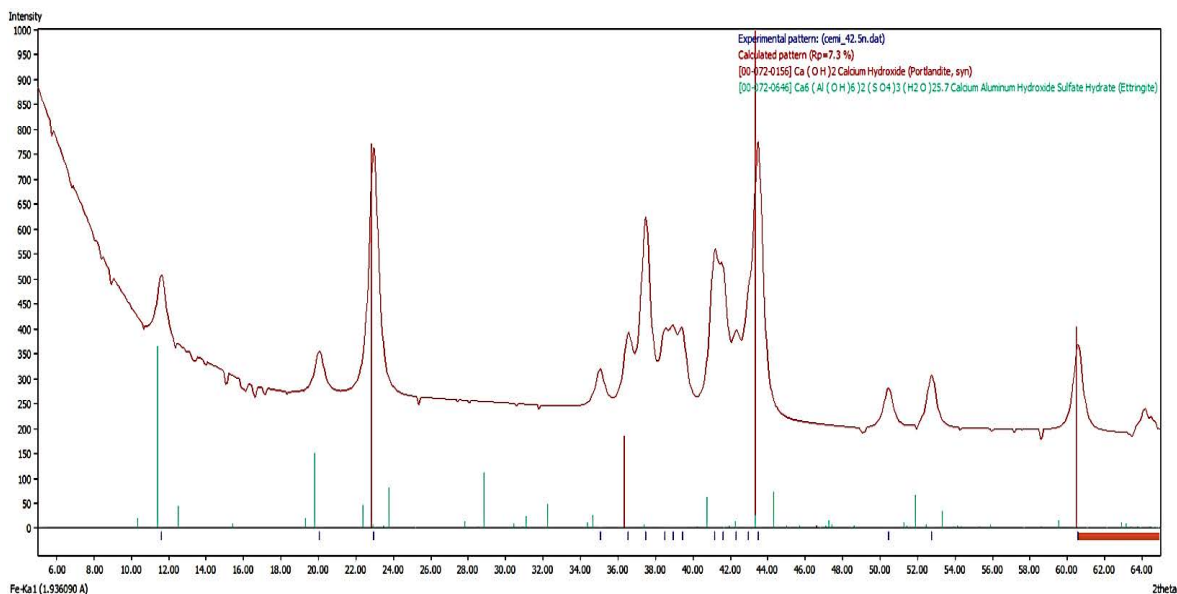


Рисунок 2 – Рентгенограмма цементного камня (контрольного) после 28 сут твердения

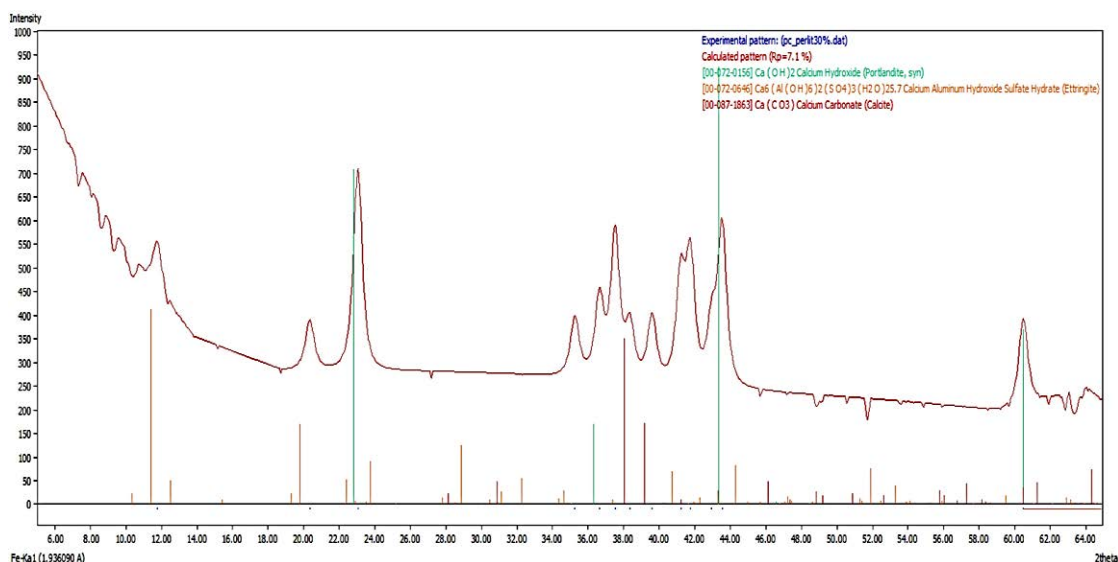


Рисунок 3 – Рентгенограмма композиционного вяжущего (ПЦ+20 % стекловидного перлита)

На наличие портландита указывало существование характерных линий 2,61; 1,92 Å. Сравнение интенсивности пиков, относимых к портландиту в контрольном бездобавочном цементе и композиционном вяжущем со стекловидным перлитом, показало, что происходит их снижение на 25–30 %. Анализ дифрактограмм цементного камня с добавкой стекловидного перлита подтвердило, что в гидратированном композиционном вяжущем идентифицируются дополнительные пики низкоосновных гидросиликатов кальция, сходных по структуре с афвиллитом $C_3S_2H_3$ (d/n 1,92 Å) и тоберморитом $C_5S_6H_6$ (d/n 3,07; 3,54 Å). Образующийся при гидратации портландит взаимодействовал с аморфным кремнеземом измельченного стекловидного перлита, при этом ионы Ca^{2+} из раствора адсорбировались на поверхности зерен перлита, которые были заряжены отрицательно. Рост кристаллогидратов и образование новых привели к заполнению межзернового пространства коагуляционными контактами новообразований, переходящих в кристаллизованные [17–19].

Для подтверждения результатов по формированию микроструктуры композиционного вяжущего был проведен электронно-микроскопический анализ (рис. 4).

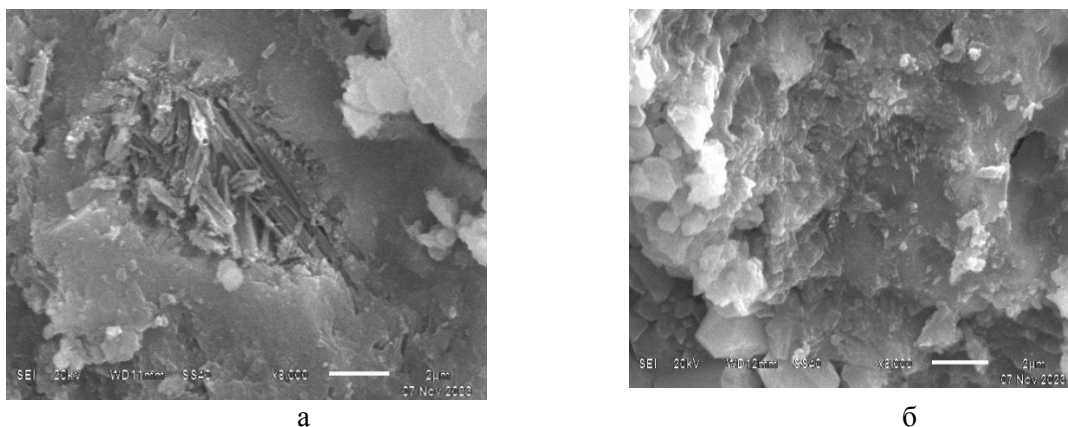


Рисунок 4 – Микроструктура цементного камня (увеличение $\times 8000$):
а – ПЦ через 28 сут твердения; б – ПЦ + дисперсный стекловидный перлит
через 28 сут твердения

Структура контрольного цементного камня и композиционного вяжущего с дисперсным стекловидным перлитом была представлена кристаллами гидросиликатов кальция различной

формы и плотности упаковки. На поверхности скола модифицированного композиционного вяжущего наблюдали более плотную бездефектную структуру. Наличие слоистой структуры гидросиликатов кальция, заполнение межпорового пространства игольчатыми кристаллами гидросиликата кальция наблюдалось в составе, модифицированном стекловидным перлитом. Более компактная структура с наличием сросшихся кристаллов низкоосновных гидросиликатов кальция обуславливала повышение физико-механических свойств композиционного вяжущего со стекловидным перлитом.

Таким образом, проведенные исследования процессов структурообразования композиционного вяжущего показали изменения микроструктуры и фазового состава с возможностью для повышения физико-механических свойств и долговечности бетонов для гидротехнических сооружений.

Заключение

Применение активной минеральной добавки на основе стекловидного перлита приводит к повышению прочности на сжатие композиционного вяжущего за счет участия дисперсного стекловидного перлита в формировании структуры цементного камня.

Определено, что стекловидный перлит обладает средними пуццоланическими свойствами, в то время как закристаллизованный перлит относится к добавкам с низкими пуццоланическими свойствами.

Выявлено, что при введении стекловидного перлита в состав вяжущего происходит снижение интенсивности пиков относимых к портландиту. Образование низкоосновных гидросиликатов кальция способствует росту прочности и долговечности композита.

Исследование выполнено в рамках гранта «Молодые ученые ВСГУТУ-2024».

Библиография

1. Григорьев В.Г., Козлова В.К., Андрияшина Е.Е. и др. Композиционные портландцементы для гидротехнического строительства // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1–2. – С. 62–64.
2. Ибе Е.Е. Композиционные цементы для гидротехнического строительства // Молодежь и наука: сб.к материалов IX Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 385-летию со дня основания г. Красноярск. — Красноярск: Изд-во Сибирского федерального ун-та, 2013.
3. Li Q., Liang G., Hu Y. et al. Numerical analysis on temperature rise of a concrete arch dam after sealing based on measured data // Mathematical Problems in Engineering. – 2014. – N 6. – P. 1–10.
4. Yerramala A., Ganesh Babu K. Transport properties of high volume fly ash roller compacted concrete // Cement and Concrete Composites. – 2011. – N 33, Iss. 10. – P. 1057–1062.
5. Dolen T.P., Ibáñez-de-Aldecoa R., Eharz J.L. et al. Successful large RCC dams – what are the common features? // Proceedings of the fourth international symposium on roller compacted concrete (RCC) dams. – 2003. – N 2. – P. 127–137.
6. Ларсен О.А., Александрова О.В., Наруть В.В. и др. Исследование свойств активных минеральных добавок для применения в гидротехническом строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 8. – С. 8–14.
7. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кривобородов Ю.Р. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезёма и суперпластификатора на свойства бетона // Бетон и железобетон. – 1992. – № 7. – С. 4–5.
8. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. – М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2013. – 201 с.
9. Бабаев Ш.Т., Башильков Н.Ф., Гольдина И.Я. Повышение прочности цементного камня // Цемент. – 1990. – № 9. – С. 13–15.
10. Shane D., Mark T., Cheeseman C.R. Comparison of test methods to assess pozzolanic activity // Cement and Concrete Composites. – 2010. – N 32 (2). – P. 121–127.

11. *Урханова Л.А., Цыдыпова А.Ц.* Влияние золя кремнекислоты на физико-механические свойства полистиролбетона // *Строительные материалы*. – 2018. – № 1–2. – С. 45–51.
12. *Жерновой Ф.Е., Мирошников Е.В.* Комплексная оценка факторов повышения прочности цементного камня добавками ультрадисперсного перлита // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2009. – № 2. – С. 55–60.
13. *Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С.* Использование природного перлита в составе смешанных цементов // *Строительные материалы*. – 2009. – № 6. – С. 84–87.
14. *Иванов А.А., Урханова Л.А., Лхасаранов С.А. и др.* Исследование влияния тонкодисперсных добавок на свойства композиционных вяжущих для гидротехнического бетона // *Вестник ВСГУТУ*. – 2023. – № 2 (89). – С. 80–88.
15. *Урханова Л.А., Иванов А.А., Лхасаранов С.А.* Композиционный цемент с дисперсным перлитом и коллоидной добавкой для гидротехнического бетона // *Цемент и его применение*, 2024. – №1. – С. 56–60.
16. *Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Саркисов Ю.С. и др.* Исследование свойств цементного камня с комплексной добавкой // *Вестник ТГАСУ*. – 2020. – Т. 22, № 4. – С. 147–156.
17. *Цыремпилов А.Д., Заяханов М.Е., Хардаев П.К. и др.* Эффективные вяжущие и бетоны на основе эффузивных пород. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1999. – 348 с.
18. *Танг В.Л., Нгуен З.Т.Л.* Пуццоланическая активность тонкодисперсных минеральных компонентов различной природы Вьетнама // *Техника и технология силикатов*. – 2021. – Т. 28, № 1. – С. 7–12.
19. *Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н., Толыпин Д.А.* Структурообразование цементной матрицы с водоредуцирующей добавкой в условиях гидротермального синтеза // *Вестник ВСГУТУ*. – 2024. – № 1 (92). – С. 107–115. – DOI: 10.53980/24131997_2024_1_107.

Bibliography

1. *Grigoryev V.G., Kozlova V.K., Andryushina E.E. et al.* Composite Portland cements for hydraulic engineering // *Polzunovskiy VESTNIK*. – 2012. – N 1–2. – P. 62–64.
2. *Ibe E.E.* Composite cements for hydraulic engineering construction // *Youth and science: collection of materials of the IX Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists with international participation, dedicated to the 385th anniversary of the founding of Krasnoyarsk*. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2013.
3. *Li Q., Liang G., Hu Y. et al.* Numerical analysis on temperature rise of a concrete arch dam after sealing based on measured data // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2014. – N 6. – P. 1–10.
4. *Yerramala A., Ganesh Babu K.* Transport properties of high volume fly ash roller compacted concrete // *Cement and Concrete Composites*. – 2011. – N 33, Iss. 10. – P. 1057–1062.
5. *Dolen T.P., Ibáñez-de-Aldecoa R., Eharz J.L. et al.* Successful large RCC dams – what are the common features? // *Proceedings of the fourth international symposium on roller compacted concrete (RCC) dams*. – 2003. – N 2. – P. 127–137.
6. *Larsen O.A., Aleksandrova O.V., Narut V.V et al.* Study of the properties of active mineral additives for use in hydraulic engineering // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. –2020. – N 8. – P. 8–14.
7. *Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Krivoborodov Yu.R.* Influence of cement stone structure with addition of microsilica and superplasticizer on concrete properties // *Concrete and Reinforced Concrete*. – 1992. – N 7. – P. 4–5.
8. *Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V.* Structure and properties of concrete with nanomodifiers based on technogenic waste. – М.: MISS-MGSU, 2013. – 201 p.
9. *Babaev Sh.T., Bashlykov N.F., Goldina I.Ya.* Increasing the strength of cement stone // *Cement*. –1990. – N 9. – P. 13–15.
10. *Shane D., Mark T., Cheeseman C.R.* Comparison of test methods to assess pozzolanic activity // *Cement and Concrete Composites*. – 2010. – N 32 (2). – P. 121–127.
11. *Urkhanova L.A., Tsydyпова A.Ts.* Influence of silicic acid sol on physical and mechanical properties of polystyrene concrete // *Stroitel'nye Materialy (Construction materials)*. – 2018. – N 1–2. – P. 45–51.
12. *Zhernovoy F.E., Miroshnikov E.V.* Comprehensive assessment of factors for increasing the strength of cement stone by adding ultrafine perlite // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. – 2009. – N 2. – P. 55–60.

13. *Lesovik V.S., Zhernovoy F.E., Glagolev E.S.* Use of natural perlite in mixed cements // *Stroitel'nye Materialy (Construction materials)*. – 2009. – N 6. – P. 84–87.
14. *Ivanov A.A., Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A. et al.* Investigation of the effect of fine disperse additives on the properties of composite binders for hydraulic concrete // *ESSUTM Bulletin*. – 2023. – N 2 (89). – P. 80–88.
15. *Urkhanova L.A., Ivanov A.A., Lkhasaranov S.A.* Composite cement with dispersed perlite and colloidal additive for hydraulic concrete // *Cement and its Applications*. – 2024. – N 1. – P. 56–60.
16. *Demyanenko O.V., Kopanitsa N.O., Sarkisov Yu.S. et al.* Study of the properties of cement stone with a complex additive // *Journal of Construction and Architecture*. – Tomsk, 2020. – Vol. 22, N 4. – P. 147–156.
17. *Tsyrempilov A.D., Zayakhanov M.E., Khardaev P.K. et al.* Effective binders and concretes based on effusive rocks. – Ulan-Ude: Publishing house BSC SB RAS, 1999. – 348 p.
18. *Tang V.L., Nguyen Z.T.L.* Pozzolanic activity of finely dispersed mineral components of various natures in Vietnam // *Technique and Technology of Silicates*. – 2021. – Vol. 28, N 1. – P. 7–12.
19. *Tolypina N.M., Khakhaleva E.N., Tolypin D.A.* Cement matrix structuring with water-reducing additive under hydrothermal synthesis // *ESSUTM Bulletin*. – 2024. – N 1 (92). – P. 107–115. – DOI: 10.53980/24131997_2024_1_107.

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ
ДЛЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ» (ВЕСТНИК ВСГУТУ)**

Статья представляется в виде файла в электронном виде формата *.doc на электронный адрес vestnikvsgutu@mail.ru. Объем статьи должен быть не менее 8 полных страниц (включая таблицы, рисунки и список литературы) в формате MSWORD 6.0/95, MSWORD 97, MSWORD 2000 (шрифт TimesNewRoman, 12 пт. через один интервал, поля: верхнее 2 см, левое 2 см, правое 2 см, нижнее 2 см, ориентация – книжная, перенос слов автоматический). Абзацный отступ – 1,25 см. В начале статьи необходимо указать раздел, в который следует поместить статью, и сведения об авторах, включающие фамилию, имя, отчество, ученую степень, ученое звание, академическое звание, наименование организации, E-mail, факс (если имеется), индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК), название и краткую аннотацию (100 слов) статьи, ключевые слова (6...8 слов). Название статьи, фамилии и инициалы авторов, аннотация, ключевые слова, а также список цитированной литературы (библиография) даются и на английском языке.

Текст статьи должен включать разделы: Введение (обязательно указать цель работы), **Материалы и методы исследования, Результаты исследования и их обсуждение, Заключение, Библиография.** В тексте статьи, описывающем результаты исследования, должны использоваться глаголы в прошедшем времени.

Все формулы, в том числе отдельные переменные, упоминаемые в тексте, должны быть набраны в редакторе формул MicrosoftEquation или MathType. Не допускается набор формул в текстовом режиме или с использованием таблицы символов.

Параметры MicrosoftEquation или MathType должны быть следующими:

Стиль: текста – TimesNewRoman, прямой; функции – TimesNewRoman, наклонный; переменной – TimesNewRoman, наклонный; греческих букв – Symbol, наклонный; символов – Symbol, прямой; чисел – TimesNewRoman, прямой.

Размеры: обычный – 12 pt, крупный индекс – 10 pt, мелкий индекс – 8 pt, крупный символ – 16 pt, мелкий символ – 12 pt.

Размер формул по горизонтали не должен превышать 130 мм, длинные формулы следует обязательно разбивать на блоки. Не рекомендуется применять «многоэтажные» индексы.

Формулы ставятся по центру, номер формулы ставится у правого края, например:

$$z(\zeta) = z_A + Ke^{i\alpha\pi} \int_0^{\zeta} \frac{(1-\zeta)d\zeta}{[(\zeta+c) \cdot (1+c-\zeta)]^{3/2} \cdot \zeta^{\alpha}} \quad (1)$$

Нумеруются лишь те формулы, на которые в тексте имеются ссылки.

В таблице необходимо пронумеровать заголовки столбцов. При переносе таблиц на другую страницу пишется «Продолжение таблицы», а вместо головной части таблицы, ставится нумерация столбцов.

Рисунки представлять в электронной версии, выполненные на компьютере, черно-белые или в цвете. Для выполнения рисунков допускается использование графики MSWord. Надписи и обозначения на рисунках должны быть выполнены шрифтом, близким по начертанию шрифтам TimesNewRoman 1 pt. Подрисовочные подписи вставлять в рисунок не рекомендуется.

При выборе единиц измерения рекомендуется придерживаться международной системы единиц СИ.

Ссылки в тексте на цитированную литературу даются в квадратных скобках, например [1]. Библиография приводится в конце статьи и входит в общий объем, необходимо указать не менее 15 источников. Ссылка в тексте идет последовательно, по нумерации источников, например [1, 2, 3]. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Не менее 50 % источников из библиографии должны быть опубликованы в периодических печатных изданиях в течение последних десяти лет. Не рекомендуется использование научной литературы старше 20 лет и более трех интернет-источников. Рекомендуется включение в текст статьи ссылок на научные труды иностранных авторов.

При составлении списка литературы (на русском и иностранных языках) обязательно указание следующих данных:

для книг – фамилия и инициалы автора, полное название книги, место издания, издательство, год издания, том или выпуск и общее количество страниц;

для статей в периодических изданиях – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала (сборника), год издания (для сборника – также место издания), том, номер (выпуск), первая и последняя страницы статьи;

для статей в неперіодических изданиях (книгах) – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название книги (сборника), место издания, издательство, год издания, первая и последняя страницы статьи;

для тезисов и текстов докладов на конференциях (семинарах, симпозиумах) – фамилия и инициалы автора, название доклада, полное название сборника тезисов или трудов конференции, дата и место проведения конференции, том, номер (выпуск), первая и последняя страницы тезисов или текста доклада;

для препринтов – фамилия и инициалы автора, название работы, место (город), год издания, количество страниц, (номер препринта / название научного учреждения или учебного заведения);

для патентов и авторских свидетельств – вид патентного документа, его номер, название страны, выдавшей документ, индекс МКИ, название изобретения, авторы, дата подачи заявки, дата публикации и сведения об официальном издании, где опубликованы сведения о патентном документе, сведения о приоритете;

для депонированных рукописей – фамилия и инициалы автора, полное название рукописи, наименование организации, год издания, общее количество страниц, место депонирования.

Примеры оформления библиографии:

а) для журнальных статей:

Узаков Я.М., Каимбаева Л.А. Использование мяса и субпродуктов маралов в производстве мясных изделий // Мясная индустрия, 2021. – № 8. – С. 40–43.

б) для книг:

Никонов В. И., Яковлева В. Я. Алгоритмы успешного маркетинга. – М., 2020. – С. 256–300.

в) для статей в сборнике:

Абильмажинова Н.К., Абжанова Ш.А., Таева А.М. Исследование качественных показателей мясных полуфабрикатов из конины с использованием // Естественные и технические науки: опыт, проблемы, перспективы: мат-лы конф. – Ставрополь: Центр научного знания «Логос», 2020. – № 1. – С. 3–7.

г) для статей в интернет-изданиях:

Логина Л. Г. Сущность результата дополнительного образования детей // Образование: исследовано в мире: междунар. науч. пед. интернет-журн. 21.10.2021. URL: <http://www.oim.ru/reader.asp?номер=366> (дата обращения: 17.04.2022).

д) Патент RU 2427124 C1 A01C 7/20. Сошник / Тумурхонов В.В., Раднаев Д.Н., Лобанов И.Ф., Прокопьев С.Н. Патентообладатели: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова». – Заявка № 2010110214/21, заявл. 27.08.2011, опубл. 17.03.2010.

д) для источников Интернета: полностью название ресурса на языке оригинала.

Отбор, редактирование и рецензирование публикуемых статей производятся редакционной коллегией и ведущими учеными. Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Научное издание

ВЕСТНИК
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ
(Вестник ВСГУТУ)

Научно-технический журнал
№ 2 (93)

Редакторы

Р. А. Багаева

Е. В. Белоplotова

Компьютерная верстка

Е. В. Белоplotовой

Ю. А. Мунхановой

Выход в свет 25.06.2024. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. л. 14,18. Тираж 100 экз. Заказ № 82.

Цена 350 руб.

Издательство ВСГУТУ, редакция «Вестник Восточно-Сибирского
государственного университета технологий и управления» (Вестник ВСГУТУ)

Адрес издательства, редакции: 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ,
ул. Ключевская, д. 40В, строение 1.

Отпечатано в типографии ВСГУТУ

Адрес типографии: 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ,
ул. Ключевская, д. 40В, строение 9.