

ISSN 2227-4227



ВЕСТНИК

Научный журнал
Основан в 2011 г.

Курганской ГСХА



№ 4 (52) / 2024

КУРГАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ Т.С. МАЛЬЦЕВА – ФИЛИАЛ ФГБОУ ВО «КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПРИГЛАШАЕТ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

Приглашаем к сотрудничеству ученых российских и зарубежных организаций по следующим научным тематикам:

- «Разработка технологий, методов и приемов повышения уровня реализации генетического потенциала животных и птицы в целях получения высококачественного и безопасного животноводческого сырья»;

- «Совершенствование ветеринарно-санитарных мероприятий, контроля качества и безопасности использования кормов и продуктов животного происхождения»;

- «Анализ устойчивости техногенных экосистем при антропогенной нагрузке»;

- «Разработка технологических приёмов возделывания сельскохозяйственных культур с учетом трансформации почвенного плодородия»;

- «Совершенствование племенных, продуктивных качеств сельскохозяйственных животных и элементов технологии производства продукции животноводства»;

- «Методы и приемы мониторинга фитосанитарного состояния и продуктивности агробиоценозов»;

- «Изучение экологической пластичности сортов сельскохозяйственных культур»;

- «Совершенствование и разработка технологических приемов реализации генетического потенциала животных и повышение качества конкурентоспособной пищевой продукции»;

- «Эффективное использование земель, как фактор формирования устойчивого землепользования»;

- «Разработка технологических приёмов возделывания сельскохозяйственных культур с учетом трансформации почвенного плодородия».

В рамках программ сотрудничества возможна совместная научная работа, проведение международных научно-практических конференций и семинаров, круглых столов, выставок и других мероприятий.

Контактная информация

641300, Курганская область, Кетовский район, с. Лесниково, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т. С. Мальцева – филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»

Тел. (35231) 44-140

Web: <https://kgsu.ru/ksaa>

E-mail: kgcxa@kgsu.ru



ВЕСТНИК Курганской ГСХА

16+

Выпуск № 4 (52) 2024 Издаётся с 2012 г.

Учредитель:

ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-85086 от 31 марта 2023 г. (ранее – ПИ № ФС77-47376 от 16 ноября 2011 г.) выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (Перечень ВАК)

Индексирование и реферирование:

РИНЦ
AGRIS
ЭБС «Лань»
НЭБ «КиберЛенинка»

Подписной индекс журнала по каталогу

ООО «УРАЛ-ПРЕСС ОКРУГ» – 87490

Адрес редакции

641300, Курганская область, Кетовский район, с. Лесниково, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева – филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»

Адрес издателя, типографии

640020, г. Курган, ул. Советская, д. 63, стр. 4, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Библиотечно-издательский центр

Тел/факс: (35231) 44-140

Web: <https://kgsu.ru/>

E-mail: kgshavestnik@mail.ru,
vestnik_kgsxa@kgsu.ru

ISSN 2227-4227

Выход в свет 26.12.2024. Формат 60 x 84½

Бумага офсетная. Гарнитура «Arial»

Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,125

Тираж 1001 экз.

Отпечатано в библиотечно-издательском центре ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»

Цена: в розницу – свободная

Состав редакционной коллегии

Главный редактор

Суханова С.Ф., председатель редакционной коллегии, советник при ректорате ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», д-р с.-х. наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ

Редакционная коллегия

Астафьев В.Л., директор, Костанайский филиал ТОО «НПЦ агроинженерии», д-р техн. наук, профессор, академик с.-х. наук Республики Казахстан

Валиев А.Р., ректор, Казанский ГАУ, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан

Егоров И.А., научный руководитель по питанию птицы, ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства РАН», д-р биол. наук, профессор, академик РАН

Ерёмин Д.И., заместитель директора НИИСХ Северного Зауралья – филиала ТюмНЦ СО РАН по науке, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, д-р биол. наук, доцент

Зиганшин Б.Г., первый проректор – проректор по научной работе и цифровой трансформации, Казанский ГАУ, д-р техн. наук, профессор

Исайчев В.А., ректор, Ульяновский ГАУ, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН

Кошелев С.Н., профессор кафедры ветеринарии и зоотехнии, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева – филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», д-р биол. наук, профессор

Коцаев А.Г., проректор по научной работе, Кубанский ГАУ, д-р биол. наук, профессор, академик РАН

Кудзаев А.Б., профессор кафедры тракторов и сельскохозяйственных машин, Горский ГАУ, д-р техн. наук, профессор

Мазитов Н.К., профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе, Казанский ГАУ, д-р с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН

Павлюшин В.А., руководитель лаборатории микробиологической защиты растений, гл. науч. сотрудник Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, д-р биол. наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ

Писаренко П.В., первый проректор, Полтавский ГАУ (Украина), д-р с.-х. наук, профессор, академик Инженерной Академии Украины

Постовалов А.А., зав. кафедрой экологии, растениеводства и защиты растений, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева – филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», д-р с.-х. наук, доцент

Фисинин В.И., научный руководитель, Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства РАН, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН

Фоминых А.В., профессор кафедры механизации и электрификации сельского хозяйства, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева – филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», д-р техн. наук, профессор

Шаров А.В., проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», доцент кафедры физической и прикладной химии, канд. хим. наук

Редакция журнала

Попкова Н.А. – редактор, канд. с.-х. наук

Жирова Л.Г. – переводчик

Быкова Н.М. – литературный редактор

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Сельскохозяйственные науки

Agricultural Sciences

4.1 – Агронимия, лесное и водное хозяйство

4.1 – Agronomics, forestry and water management

Лаврищев А.В., Лаврищева Т.А., Клятышева А.И.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ
АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ
КИСЛОТНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ
СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ3

Lavrishchev A.V., Lavrishcheva T.A., Kliatysheva A.I.
THE EFFEC-TIVENESS OF THE COMPLEX
FERTILIZER APAVIVA NPK(S) 15:15:15(10) AT
DIFFERENT LEVELS OF ACIDITY
OF SOD-PODZOLIC MEDIUM LOAMY SOIL3

4.2 – Зоотехния и ветеринария

4.2 – Zootechnics and veterinary science

Алексеева Е.И., Суханова С.Ф., Морозов В.Ю.
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ МЯСА БЫЧКОВ
ГЕРЕФОРДСКОЙ И АБЕРДИН-АНГУССКОЙ ПОРОД ..14

Alekseeva E.I., Sukhanova S.F., Morozov V.Yu.
BIOLOGICAL VALUE OF THE MEAT OF HEREFORD
AND ABERDEEN ANGUS BULL CALVES..... 14

Бекшенова А.М., Бахарев А.А.
МЯСНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КРУПНОГО РОГАТОГО
СКОТА ПОРОДЫ ОБРАК И ЕЁ ПОМЕСЕЙ
С ПОРОДАМИ ШАРОЛЕ И САЛЕРС24

Bekshenova A.M., Bakharev A.A.
MEAT PRODUCTIVITY OF THE AUBRAC BREED
CATTLE AND ITS CROSSBREEDS WITH
THE CHAR-OLAIS AND SALERS BREEDS.....24

Новикова О.Б., Герасимова А.О., Красков Д.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОФЛОРЫ,
ВЫДЕЛЯЕМОЙ ОТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ПТИЦЫ РАЗНЫХ ВИДОВ, И КОНТРОЛЬ
БАКТЕРИАЛЬНЫХ БОЛЕЗНЕЙ
В ПТИЦЕХОЗЯЙСТВАХ.....31

Novikova O.B., Gerasimova A.O., Krasrov D.A.
COMPARATIVE ANALYSIS OF MICROFLORA
ISOLATED FROM THE POULTRY
OF DIFFERENT SPECIES AND CONTROL
OF BACTERIAL DISEASES IN POULTRY
FARMS.....31

Суханова С.Ф., Позднякова Н.А.
ВЛИЯНИЯ КОРМОВЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ.....41

Sukhanova S.F., Pozdnyakova N.A.
FEED MINERAL ADDITIVE EF-FECTS ON THE
PRODUCTIVITY OF LACTATING COWS.....41

Технические науки

Technical science

4.3 – Агроинженерия и пищевые технологии

4.3 – Agroengineering and food technologies

Белозерова С.В., Савиных П.А., Исупов А.Ю.
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА ЗЛАКОВЫХ
КУЛЬТУР ТОКАМИ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ51

Belozerova S.V., Savinykh P.A., Isupov A.U.
OPTIMIZATION OF THE MECHANICAL PART OF THE
PLANT FOR CEREAL GRAIN PRO-CCESSING WITH
ULTRA-HIGH FREQUENCY CURRENTS51

**Гуляев П.В., Степанчук Г.В., Попов М.Ю.,
Пупенко К.К., Батраченко А.В.**
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ
И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ И
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОЖНИВНЫХ
ОСТАТКОВ61

**Gulyaev P.V., Stepanchuk G.V., Popov M.Yu.,
Pupenko K.K., Batrachenko A.V.**
RESEARCH RESULTS OF THE PARAMETERS
AND OPERATING MODES OF THE MOLD FOR
MANUFACTURING STRUCTURAL
AND BUILDING MATERIALS FROM
CROP RESIDUES61

**Фомичев М.А., Игнатенков В.Г., Алешкин А.В.,
Морозов В.В.**
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО
СМЕСИТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНЫМ ШНЕКОМ.....71

**Fomichev M.A., Ignatenkov V.G., Aleshkin A.V.,
Morozov V.V.**
RESULTS OF THE EXPERIMENTAL STUDIES
THE OPERATION OF THE HORIZONTAL MIXER
WITH A BELT AUGER71

**Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Поликутина Е.С.,
Бурмага А.В., Сурин Р.О.**
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПОСЕВНОЙ
ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ.....80

**Shchitov S.V., Krivutsa Z.F., Polikutina E.S.,
Burmaga A.V., Surin R.O.**
OPTIMIZATION OF PRE-SOWING SOIL PREPARATION
PROCESSES IN THE AMUR REGION.....80

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 3–13
Vestnik Kurganskoy GSNA. 2024; (4-52): 3–13

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 631.4

Код ВАК 4.1.3

EDN: ABYUFC

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ КИСЛОТНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ

Антон Викторович Лаврищев¹, Татьяна Александровна Лаврищева²,
Анастасия Ильинична Клятышева³

^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург,
Пушкин, Россия

¹ av.lavrishchev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-2608>

² ta.lavrishcheva@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0432-9295>

³ aklyatysheva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6242-8323>

Аннотация. Цель исследований – изучение эффективности комплексного удобрения АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) при разном уровне кислотности дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Исследования проводили в лабораторно-вегетационном эксперименте, заложенном в контролируемых условиях освещенности, температуры и влажности. Исследования показали, что внесение АРАВИВА привело к снижению $pH_{\text{ксл}}$ с 5,41 до 4,85 ед, что, по-видимому, связано со значительным выносом кальция урожаем выращиваемых культур. Использование известковых материалов способствовало нейтрализации почвенной кислотности. Внесение АРАВИВА 15:15:15(10) привело к достоверному увеличению урожайности рапса 1-й ротации (в 3,69 раза) по сравнению с контрольным вариантом. В вариантах с внесением химических мелиорантов урожайность рапса также была достоверно выше и превышала урожайность растений контрольного варианта в 3,49–3,83 раза. К третьему сроку исследований урожайность ярового рапса снизилась в контрольном варианте на 33,67 %, в варианте с использованием комплексного удобрения – на 26,50–27,62 %. Урожайность гороха второй ротации варьировалась по вариантам опыта от 12,33 до 14,43 г/сосуд (воздушно-сухой массы растений) с максимальными значениями в вариантах с известкованием. Растения гороха четвертой ротации обладали значительно меньшей урожайностью (3,22 до 7,48 г/сосуд) с минимальной урожайностью растений варианта с применением АРАВИВА. Удобрения и мелиоранты оказали положительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Формирование высоких урожаев рапса и гороха в вариантах с использованием удобрений и мелиорантов способствовало повышенному выносу кальция из почвы. В вариантах с использованием химических мелиорантов эти потери были компенсированы. Использование комплексного удобрения в чистом виде привело к снижению урожайности растений на поздних этапах проведения эксперимента.

Ключевые слова: минеральные удобрения, известкование, почвенная кислотность, фитотрон, рапс, горох, конверсионный мел, доломитовая мука.

Благодарности: работа финансировалась за счёт средств бюджета Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Для цитирования: Лаврищев А.В., Лаврищева Т.А., Клятышева А.И. Эффективность комплексного удобрения АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) при разном уровне кислотности дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 3–13. EDN: ABYUFC.

Scientific article

THE EFFECTIVENESS OF THE COMPLEX FERTILIZER АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) AT DIFFERENT LEVELS OF ACIDITY OF SOD-PODZOLIC MEDIUM LOAMY SOIL

Anton V. Lavrishchev¹, Tatyana A. Lavrishcheva², Anastasiia I. Kliatysheva³

^{1, 2, 3} Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

¹ av.lavrishchev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-2608>

² ta.lavrishcheva@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0432-9295>

³ aklyatysheva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6242-8323>

Abstract. The purpose of the research is to study the effectiveness of the complex fertilizer APAVIVA NPK(S) 15:15:15(10) at different levels of acidity of sod-podzolic medium loamy soil. The research was carried out in a laboratory-vegetation experiment under controlled conditions of illumination, temperature and humidity. The studies have shown that the introduction of APAVIVA led to a decrease in pH_{KCl} from 5.41 to 4.85 units, which, apparently, is associated with a significant removal of calcium by the cultivated crops. The application of liming materials contributed to soil acidity neutralization. The introduction of APAVIVA 15:15:15(10) led to a significant increase in the yield of rapeseed of the 1st rotation (by a factor 3.69 times) compared with the control variant. In the variants with the introduction of chemical meliorants, the yield of rapeseed was also significantly higher and exceeded the yield of plants of the control variant by a factor 3.49-3.83 times. By the third period of research, the yield of spring rapeseed had decreased in the control variant by 33.67%, in the variant using a complex fertilizer – by 26.50–27.62%. The yield of peas of the second rotation varied according to the experimental variants from 12.33 to 14.43 g/vessel (air-dry weight of plants) with the maximum values in the liming variants. The pea plants of the fourth rotation had significantly lower yields (3.22 to 7.48 g/vessel) with a minimum plant yield with the APAVIVA application variant. The fertilizers and meliorants had a positive effect on the crop yields. The formation of high yields of rapeseed and peas in the variants using fertilizers and meliorants contributed to increased removal of calcium from the soil. In the variants using chemical meliorants, these losses were compensated. The use of a complex fertilizer in its pure form led to a decrease in plant yields at the later stages of the experiment.

Keywords: mineral fertilizers, liming, soil acidity, phytotron, rapeseed, peas, conversion chalk, dolomite flour.

Acknowledgements: the work was funded from the budget of the St. Petersburg State Agrarian University. No additional grants have been received to conduct or quote this particular study.

For citation: Lavrishchev A.V., Lavrishcheva T.A., Kliatysheva A.I. The effectiveness of the complex fertilizer APAVIVA NPK(S) 15:15:15(10) at different levels of acidity of sod-podzolic medium loamy soil // Vestnik Kurganskoj GSHA. 2024; (4-52): 3–13. EDN: ABYUFC. (In Russ).

Введение. Почвенный покров Северо-Запада РФ представлен дерново-подзолистыми почвами, обладающими кислой реакцией среды. Известкование является важнейшим мелиоративным приёмом, направленным на устранение почвенной кислотности и оптимизацию почвенных условий для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур [1].

Использование минеральных удобрений в сельскохозяйственном производстве – один из основных способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур и сохранения плодородия почв в условиях сильной агрогенной нагрузки [2–4]. Эффективность минеральных удобрений увеличивается при их совместном использовании с приёмами химической мелиорации [5–7].

Широкий спектр минеральных удобрений и ме-

лиорантов, выпускаемых в настоящее время туковой промышленностью, предполагает проведение опытов, направленных на комплексное изучение их воздействия на почвы и растения. При этом особое значение имеют лабораторно-вегетационные эксперименты в контролируемых условиях освещённости, температуры и влагообеспеченности фитотронов [8; 9].

Цель исследований – изучение эффективности комплексного удобрения APAVIVA NPK(S) 15:15:15(10) при разном уровне кислотности дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы.

В задачи исследований входило:

– изучить изменение почвенной кислотности при внесении минерального удобрения и мелиорантов в процессе выращивания сельскохозяйственных культур;

– выявить влияние комплексного удобрения APAVIVA NPK(S) 15:15:15(10) на урожайность рас-



Рисунок 1 – Внешний вид лабораторно-вегетационного опыта

тений различных биологических семейств при разном уровне почвенной кислотности.

Материалы и методы. Объектом исследования служила дерново-подзолистая среднесуглинистая почва со следующими физико-химическими характеристиками: гумус – 1,76 %; pH_{KCl} – 5,4; Hg – 4,46 ммоль(экв)/100 г;

Исследование проводили в фитолaborатории ФосАгро ФГБОУ ВО «СПбГАУ» (рисунок 1).

В фитолaborатории поддерживали оптимальную температуру, влажность и освещение. В опыте использовали лампы UnionPowerStar-40W-T, длина волны диодов: синий (450 нм), красный (660 нм). «Световой» день – 15 часов (с 7-00 до 22-00). Влажность почвы в процессе выращивания растений поддерживали на уровне 60 % ППВ [10]. Полив проводили дистиллированной водой.

Схема опыта: 1) Контроль (без удобрений); 2) АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – 0,2 г д.в. на 1 кг массы почвы (Фон); 3) Фон + Конверсионный мел (КМ) по 1Нг; 4) Фон + Доломитовая мука (ДМ) по 1Нг.

В качестве фона в почву вносили комплексное минеральное удобрение АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) производства ПАО «ФосАгро». Азот в удобрении представлен в форме NH_4 , 90 % фосфатов составляют водорастворимые формы. Содержит в своём составе 10 % серы и 0,3–1 % MgO . pH 6,0–7,2, по гранулометрическому составу гранулы 1–6 мм ($\geq 97\%$). Изучение мелиоративного эффекта при использовании материалов различной химической природы совместно с АРАВИВА приведено в работе [11].

Комплексное удобрение АРАВИВА (NPK(S) 15:15:15 (10)) вносили в почву перед посевом каждой культуры, выращиваемой в опыте.

В качестве химических мелиорантов в опыте использовали конверсионный мел (КМ) и доломитовую муку (ДМ). КМ представляет собой побочный продукт производства азотных удобрений, получается в результате азотнокислого разложения апатитового концентрата. Мел характеризуется тонкодисперсным гранулометрическим составом (основная масса гранул – 99,8 %, представлена частицами размером $< 0,25$ мм), имеет мелкокристаллическую структуру и низкое содержание

влаги (1–1,2 %). За счёт кристаллической структуры мел обладает отличными физическими свойствами: он не слеживается, сохраняет сыпучесть при хранении в неблагоприятных условиях и легко вносится в почву имеющейся в хозяйствах техникой.

Химический состав КМ представлен в таблице 1. Мел обладает высокой нейтрализующей способностью (90 % в пересчёте на $CaCO_3$) и содержит в своём составе азот и фосфор. Концентрация Ni, Cu и Zn невелика и не представляет угрозы для загрязнения растений. Среди потенциально токсичных для растений элементов в его составе присутствует фтор и стронций. Причём фтор в меле представлен плохо растворимым в воде соединением CaF_2 .

Стронций содержится в меле в виде карбоната ($SrCO_3$), который переходит в растворимую форму при попадании в кислую почву [12; 13]. Экологические аспекты использования конверсионного мела при мелиорации кислых почв представлены в работах [14; 15].

Сыромолотая доломитовая мука (ДМ) произведена из доломита (месторождение Борницы Гатчинского района Ленинградской области). Содержит в своём составе углекислые соли кальция и магния ($CaCO_3 + MgCO_3$). Нейтрализующая способность отсева 84,5 % ($CaCO_3$ – 46,1 % + $MgCO_3$ – 38,4 %). Химический состав сыромолотого доломита представлен в таблице 1.

Химические мелиоранты конверсионный мел и доломитовую муку вносили в почву один раз во время закладки опыта и затем изучали в последствии.

Опыт был заложен 5 мая 2023 года. Масса почвы в сосудах 5 кг. Повторность 3-кратная.

В опыте последовательно выращивали рапс яровой, горох, рапс яровой, горох. Выбранные растения относятся к важнейшим в сельскохозяйственном отношении биологическим семействам (капустные и бобовые), представители которых широко используются в сельскохозяйственном производстве. Закономерности, выявленные на изучаемых растениях, могут быть перенесены и на других представителей данных семейств

Рапс яровой (*Brassica napus var. napus L.*) представлен сортом Лексус. Включён в государ-

Таблица 1 – Химический состав мелиорантов, %

$CaCO_3$	$MgCO_3$	P	N	Ni	Cu	Zn	F	Sr
Конверсионный мел								
90	–	0,9	1,5	0,00070	0,00070	0,00160	0,3	1,5
Доломитовая мука								
46,3	38,4	–	–	0,00062	0,000146	0,00085	–	–

Таблица 2 – Календарный график проведения опыта

Дата	Наблюдения
1-я ротация	
05.05.2023	Набивка сосудов, внесение удобрений и мелиорантов, пролив
06.05.2023	Посев ярового рапса
07.07.2023	Уборка
2-я ротация	
04.09.2023	Внесение минеральных удобрений
08.09.2023	Посев гороха
17.11.2023	Уборка
3-я ротация	
11.12.2023	Внесение минеральных удобрений
13.02.2024	Посев ярового рапса
04.04.2024	Уборка
4-я ротация	
15.04.2024	Внесение минеральных удобрений
17.04.2024	Посев гороха
05.06.2024	Уборка

ственный реестр в 2018 году. Регионы доступа: Центральный, Средневолжский, Уральский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, ЦЧО.

Рапс отзывчив на известкование и характеризуется высоким уровнем потребления элементов питания, в том числе и серы. Посевы ярового рапса в Ленинградской области неуклонно растут. С 2017 по 2022 год они возросли в 4,2 раза (с 1,3 до 5,5 тыс. гектаров). Рапс в Северо-Западном регионе выращивают на корм скоту. Получающийся при отжиме семян жмых – богатая протеином кормовая добавка, которая повышает количество белка в молоке, увеличивает надой и ускоряет набор веса мясных животных.

Горох (*Pisum sativum* L.) представлен сортом Фараон. Включён в государственный реестр в 2008 году. Регионы доступа Средневолжский, Центральный, ЦЧО, Северо-Кавказский, Нижневолжский, Уральский.

Результаты изучения влияния комплексных микроудобрений на продуктивность и качество гороха сорта Фараон представлены в работе [16].

Повторное чередование культур в опыте позволило не только изучить влияние известкования на культуры из различных биологических семейств, но и установить последствие мелиоративного приёма.

Календарный график проведения опыта приведён в таблице 2. Общая продолжительность эксперимента составила 397 дней.

После появления всходов в сосудах оставляли по 9 растений рапса и 9 растений гороха. Растения рапса убирали в фазу цветения, горох – в фазу созревания.

После уборки растений из почвенных сосудов отбирали почвенные образцы на анализ.

Статистическую обработку проводили по методу дисперсионного анализа однофакторного опыта с использованием прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты изучения динамики почвенной кислотности в период проведения эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Динамика почвенной кислотности в период проведения эксперимента, pH_{KCl}

Вариант	1 срок (рапс)	2 срок (горох)	3 срок (рапс)
1. Контроль (б/у)	5,53	5,55	5,58
2. АРАВИВА 15:15:15(10) - фон	5,41	5,00	4,85
3. Фон + КМ по 1Нг	5,82	5,77	5,42
4. Фот + ДМ по 1Нг	5,70	5,54	5,45

Таблица 4 – Урожайность ярового рапса первой и третьей ротации, г/сосуд

Вариант	Рапс 1-я ротация		Рапс 3-я ротация	
	зелёная масса	воздушно-сухая масса	зелёная масса	воздушно-сухая масса
1. Контроль (без удобрений)	58,35	10,93	34,77	7,25
2. АРАВИВА 15:15:15(10) - фон	162,02	40,43	216,35	28,57
3. Фон + КМ по 1Нг	160,49	41,96	226,03	30,37
4. Фон + ДМ по 1Нг	146,97	38,23	227,50	28,10
НСР05	19,84	12,83	33,00	6,04

Как видно из представленных данных, величина обменной кислотности в контрольном варианте за весь период эксперимента не претерпела изменений и оставалась на уровне слабокислых почв.

В варианте с внесением комплексного минерального удобрения АРАВИВА 15:15:15(10) произошло подкисление почвы. Уже после уборки первого урожая рапса, величина рН солевой вытяжки снизилась до 5,41 ед., оставаясь на уровне значений, характерных для слабокислых почв. После уборки растений гороха величина рН_{КCl} снизилась с 5,41 до 5,00 ед., перейдя на уровень среднекислых значений. После уборки третьего урожая величина рН солевой вытяжки снизилась до 4,85 ед. Значительное подкисление почв в варианте с внесением комплексного удобрений АРАВИВА, по-видимому, связано со значительным выносом кальция урожаем выращиваемых культур.

В вариантах с известкованием почв конверсионным мелом и доломитовой мукой произошла

некоторая нейтрализация почвенной кислотности. После уборки первого урожая рапса величина рН солевой вытяжки возросла до 5,82 и 5,70 ед. соответственно. Уровень почвенной кислотности перешёл на уровень, близкий к нейтральному. После уборки второго урожая (гороха) величина рН_{КCl} снизилась до 5,77 и 5,54 соответственно. Почвы остались в той же группе кислотности. Уборка третьего урожая привела к возрастанию обменной кислотности. Значения рН_{КCl} снизились до 5,42 и 5,45 ед. соответственно. Почвы перешли в категорию слабокислых почв.

Результаты изучения влияния удобрения АРАВИВА 15:15:15(10) и мелиорантов на урожайность сельскохозяйственных культур приведены в таблицах 4 и 5.

Для сравнительного изучения влияния удобрения и мелиорантов на культуру одного биологического вида на разных сроках проведения эксперимента, данные в таблицах сгруппированы отдельно для рапса и для гороха.

Как видно из таблицы 5, внесение удобрения

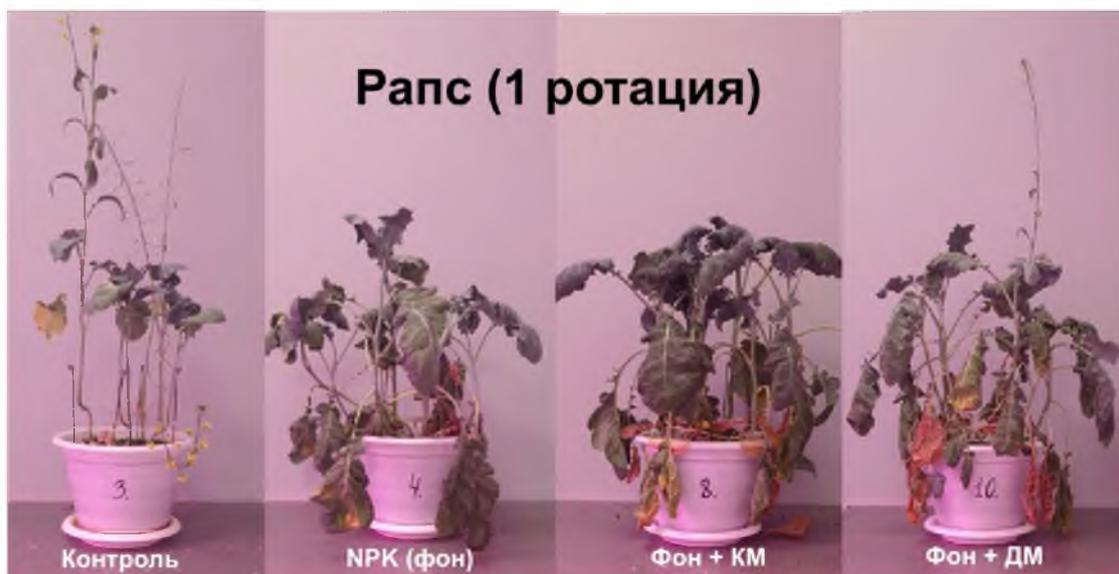


Рисунок 2 – Внешний вид опыта с рапсом (1-я ротация) перед уборкой

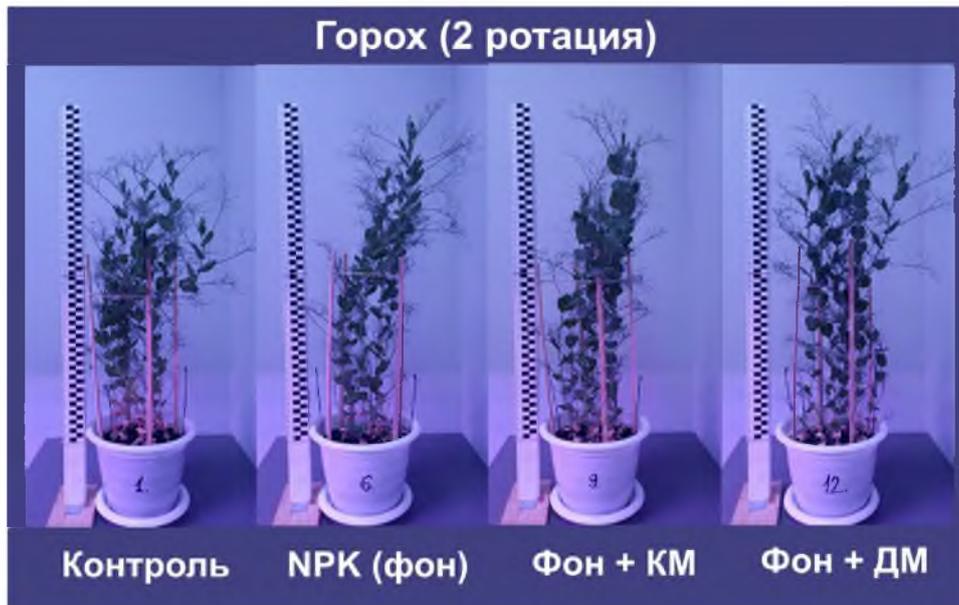


Рисунок 3 – Внешний вид опыта с горохом (2-я ротация) перед уборкой

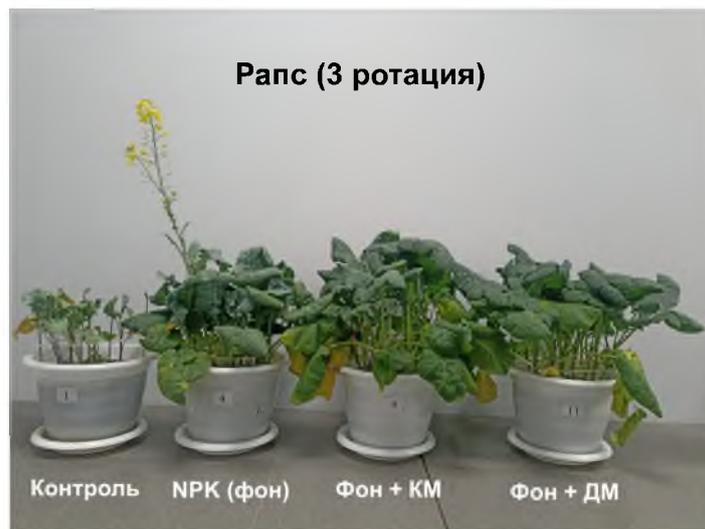


Рисунок 4 – Внешний вид опыта с рапсом (3-я ротация) перед уборкой



Рисунок 5 – Внешний вид опыта с горохом (4-я ротация) перед уборкой

АРАВИВА 15:15:15(10) в первый срок исследований привело к достоверному увеличению выхода зелёной массы рапса (в 2,77 раза) по сравнению с контрольным вариантом. Разница в массе растений в воздушно-сухом состоянии достигла 3,69 раза.

В вариантах с внесением химических мелиорантов урожайность рапса также была достоверно выше, чем в контрольном варианте. Выход воздушно-сухой массы растений рапса при известковании конверсионным мелом превышал контрольный вариант в 3,83 раза, при известковании доломитовой мукой – в 3,49 раза. Следует отметить, что существенных различий в урожайности рапса между вариантами с внесением разных мелиорантов выявлено не было.

В третий срок исследований урожайность ярового рапса снизилась.

В контрольном варианте потеря воздушно-сухой массы растений рапса составила 33,67 %, в варианте с использованием комплексного удобрения АРАВИВА 15:15:15(10) – 29,33 %. Урожайность растений, выращенных в вариантах с использованием конверсионного мела и доломитовой муки, к третьему сроку эксперимента снизилась на 27,62 % и 26,50 %.

Потеря урожайности рапса к третьему сроку эксперимента в контрольном варианте может быть связана с недостатком элементов питания.

В варианте с применением АРАВИВА 15:15:15(10) высокий выход вегетативной мас-

сы растений приводит к большему выносу кальция культурами, что в свою очередь может быть причиной небольшого подкисления почвы в этом варианте (таблица 4).

Важно при этом подчеркнуть, что рапс и горох относятся к представителям семейства капустных и бобовых, характеризующихся высоким потреблением кальция. Вынос СаО с гектара у рапса составляет 300-500 кг, у гороха – 120–150 кг.

В вариантах с внесением мелиорантов потери кальция компенсируются внесёнными карбонатами кальция, поэтому подкисление здесь происходит в меньшей степени (таблица 3).

На рисунках 2 и 4 представлены фотографии рапса перед уборкой.

В таблице 5 представлены урожайность и биометрические показатели гороха второй и четвёртой ротации.

Данные свидетельствуют, что на второй срок изучения высота растений гороха по всем вариантам опыта варьировалась в пределах 83,0–85,3 см, при этом достоверных различий между вариантами выявлено не было (рисунок 3).

Растения гороха четвёртой ротации, напротив, сильно отличались между собой. Минимальная высота растений была выявлена в варианте с внесением АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10), она составила 25,3 см и достоверно отличалась от всех остальных вариантов (таблица 5, рисунок 5).

Таблица 5 – Урожайность и биометрические показатели гороха второй и четвёртой ротации

Вариант опыта	Высота гороха, см	Зелёная масса растений гороха, г/сосуд	Масса бобов при уборке, г/сосуд	Воздушно-сухая масса растений, г/сосуд	Количество бобов, шт.	Масса горошин, г
2-я ротация						
1. Контроль	83,7	82,23	16,60	12,33	12	4,17
2. АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (фон)	85,3	85,47	21,22	13,07	14	6,25
3. Фон + КМ по 1Нг	83,0	91,05	14,53	13,88	14	3,38
4. Фон + ДМ по 1Нг	84,7	94,93	16,03	14,43	18	3,72
НСР05	9,2	20,87	14,46	2,79	–	–
4-я ротация						
1. Контроль	48,3	30,95	5,70	7,48	5	2,77
2. АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (фон)	25,3	10,82	1,83	3,22	3	0,43
3. Фон + КМ по 1Нг	43,3	27,52	8,83	5,78	6	4,40
4. Фон + ДМ по 1Нг	39,0	27,58	8,92	5,82	5	4,95
НСР05	8,3	12,16	7,23	2,16	–	–



Рисунок 6 – Формирование семян гороха 2-й ротации по вариантам опыта

Подобные закономерности были выявлены и при анализе урожайности растений. Урожайность гороха второй ротации варьировалась по вариантам опыта от 82,23 до 94,93 г/сосуд (зелёной массы растений) и от 12,33 до 14,43 г/сосуд (воздушно-сухой массы растений). Максимальные значения урожайности были достигнуты в вариантах с применением химических мелиорантов. Растения гороха четвёртой ротации обладали значительно меньшей урожайностью. Выход вегетативной массы растений составил от 10,82 до 30,95 г/сосуд (зелёной массы растений) и от 3,22 до 7,48 г/сосуд. При этом минимальная урожайность была выявлена у растений варианта с применением АРАВИВА, а максимальная – в контрольном варианте. Как уже упоминалось выше, подобная закономерность, по нашему мнению, связана со значительным выносом кальция выращиваемыми культурами на первых сроках проведения эксперимента, когда в вариантах с удобрением и мелиорантами формировалась максимальная биомасса. На поздних этапах проведения эксперимента почвы из сосудов с применением удобрений были уже обеднены кальцием.

Внесение удобрений и мелиорантов оказало влияние и на формирование бобов (рисунки 6, 7).

Количество бобов, сформировавшихся у растений гороха второй и четвёртой ротации, сильно отличалось между собой (таблица 5). В первом случае количество бобов по вариантам опыта в среднем колебалось в пределах 12–18 шт., во втором – в пределах 3–6 шт.

Количество семян в бобах сильно варьировалось даже в пределах одного варианта

(рисунки 6, 7). Масса семян, сформировавшихся у растений второй ротации, колебалась от 3,38 до 6,25 г, причём максимальная масса горошин была выявлена в варианте с применением АРАВИВА 15:15:15(10). У растений четвёртой ротации масса семян была ниже и колебалась от 0,43 до 4,95 г/сосуд. При этом в варианте с АРАВИВА 15:15:15(10) урожай семян был минимальным.

В целом можно заключить, что удобрения и мелиоранты оказали положительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Формирование высоких урожаев рапса и гороха в вариантах с использованием удобрений и мелиорантов способствовало повышенному выносу кальция из почвы. В вариантах с использованием химических мелиорантов эти потери были компенсированы. Использование комплексного удобрения в чистом виде привело к снижению урожайности растений на поздних этапах проведения эксперимента.

Заключение. Использование комплексного минерального удобрения АРАВИВА 15:15:15(10) привело к подкислению почвы. По мере проведения эксперимента величина рН солевой вытяжки снизилась с 5,41 до 4,85 ед. В вариантах с известкованием почв произошла некоторая нейтрализация почвенной кислотности. После уборки первого урожая рапса величина рН солевой вытяжки возросла до 5,82–5,70 ед. К концу третьей ротации значения рН_{ксл} снизились до 5,42–5,45 ед. Почвы перешли в категорию слабокислых почв.

Внесение АРАВИВА 15:15:15(10) в первый срок исследований привело к достоверному увеличению выхода массы рапса (в 3,69 раза) по сравнению с контрольным вариантом. В вариантах

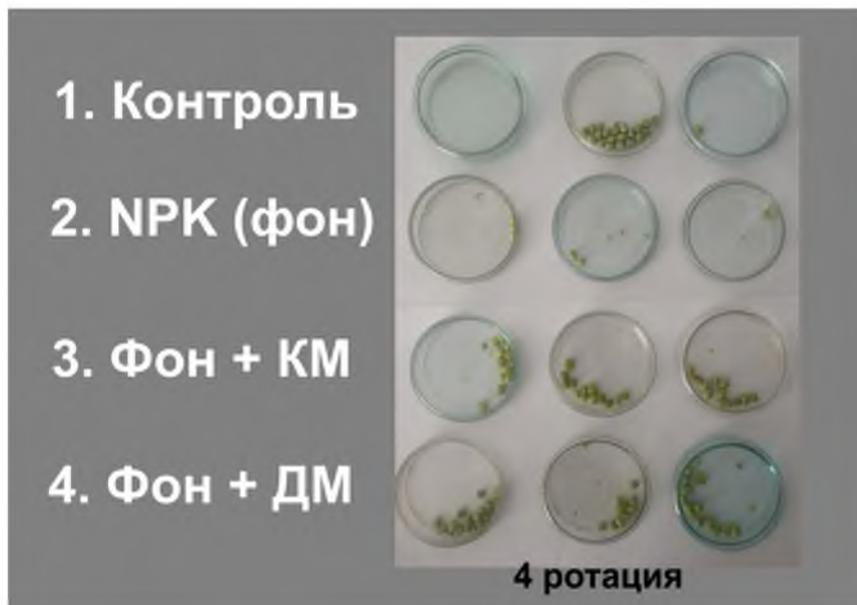


Рисунок 7 – Формирование семян гороха 4-й ротации по вариантам опыта

с внесением химических мелиорантов урожайность рапса также была достоверно выше и превышала растения контрольного варианта в 3,49–3,83 раза. В третий срок исследований урожайность ярового рапса снизилась в контрольном варианте на 33,67 %, в варианте с использованием комплексного удобрения АРАВИВА 15:15:15(10) – на 26,50–27,62 %.

Урожайность гороха второй ротации варьировалась по вариантам опыта от 12,33 до 14,43 г/сосуд (воздушно-сухой массы растений) с максимальными значениями в вариантах с применением химических мелиорантов. Растения гороха четвёртой ротации обладали значительно меньшей урожайностью (3,22 до 7,48 г/сосуд) с минимальной урожайностью растений варианта с применением АРАВИВА. Аналогичные закономерности были выявлены при анализе данных формирования бобов гороха.

Список источников

1. Гладышева О.В., Свирина В.А., Артюхова О.А. Изменение плодородия почвы и продуктивности севооборота при длительном применении минеральных удобрений с известкованием // Плодородие. 2021. № 1 (118). С. 27-29. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.08. EDN: XEGXVM.

2. Федюшкин А.В., Пасько С.В. Эффективность возделывания гороха Премьер в зависимости от вносимых минеральных удобрений и норм посева // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 2. С. 212-227. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-212-227. EDN: CVCWZC.

3. Беляев В.И., Буксман В.Э., Прокопчук Р.Е. Эффективность применения различных форм азота при возделывании ярового рапса и сои в Алтайском крае // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 2 (58). С. 12-18. DOI: 10.35694/YARCX.2022.58.2.002. EDN: AXSNUB.

4. Influence of fertilizer systems on soil organic carbon content and crop yield: results of long-term field experiments at the geographical network of research stations in Russia / V.G. Sychev [et al.] // Eurasian Soil Science. 2020. Т. 53. № 12. С. 1794-1808.

5. Налиухин А.Н., Смирнова А.А. Влияние различных систем удобрения и известкования на урожайность и химический состав клевера лугового // Плодородие. 2024. № 4 (139). С. 23-26. DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.05. EDN: MYQMDB.

6. Influence of lime and phosphorus fertilizer on shallot growth and bulb yield in strongly acid soils in West Java, Indonesia / G.A. Sopha [et al.] // Acta Horticulturae. 2021. No. 1312. P. 315-322. DOI: 10.17660/actahortic.2021.1312.46. EDN: TJAIVBC.

7. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В. Эффективность минеральных удобрений и известки при возделывании многолетних трав на дерново-подзолистой почве Республики Коми // Кормопроизводство. 2022. № 2. С. 29-33. EDN: MQYQUN.

8. Лаврищева Т. Влияние комплексного удобрения АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) на урожайность и биометрические показатели салата цикорного эндивия (*Cichorium endivia* L.) // Zemljiste i Biljka. 2024. Т. 73. № 1. С. 39-52.

9. Influence of led lighting power on Indau (*Eruca sativa* (Mill.)) / V.M. Kondratev [et al.] //

IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture. 2021. С. 032078.

10. Влияние удобрений и мелиорантов на величину почвенной кислотности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, урожайность и химический состав зеленой массы ярового рапса (по данным лабораторно- вегетационного опыта) / А.В. Литвинович [и др.] // Агрохимия. 2024. № 5. С. 37-44. DOI: 10.31857/S0002188124050055. EDN: CZGYTJ.

11. Nelson Q.M., Manakov P.S. Dynamics of pH_{KCl} of reclaimed Umbric Albeluvisol abruptic by ameliorants of various chemical nature // *Zemljiste i Biljka*. 2024. Т. 73. № 1. С. 26-38.

12. Лаврищев А.В. Изучение поведения стабильного стронция в агроэкосистемах Северо-Запада России: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.03. Санкт-Петербург, 2016. 272 с. EDN: XDVSMR.

13. Лаврищев А.В., Литвинович А.В. Стабильный стронций в агроэкосистемах. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2019. 192 с. (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 978-5-8114-3926-3. EDN: PEKRCV.

14. Leaching of strontium from albic retisol limed with sr-containing industrial waste / A. Litvinovich [et al.] // *Zemdirbyste*. 2021. Vol. 108. No. 3. P. 227-232. DOI: 10.13080/z-a.2021.108.029. EDN: UGCCTT.

15. Contamination of the Agroecosystem with Stable Strontium Due to Liming: An Overview and Experimental Data / A. Lavrishchev [et al.] // *Advances in Understanding Soil Degradation*. 2022. P. 423-449. DOI: 10.1007/978-3-030-85682-3_20. EDN: LLQOQF.

16. Голопятов М.Т., Гурьев Г.П. Влияние комплексного микроудобрения Аквамикс и инокуляции на продуктивность и качество сортов гороха нового поколения // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 2 (38). С. 52-58. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-52-58. EDN: IQTXBQ.

References

1. Gladysheva O.V., Svirina V.A., Artyukhova O.A. Izmenenie plodorodiya pochvy i produktivnosti sevooborota pri dlitel'nom primenenii mineral'nykh udobrenii s izvestkovaniem [Changes in soil fertility and crop rotation productivity with long-term use of mineral fertilizers with liming]. *Plodorodie*. 2021; 1(118): 27-29. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.08. EDN: XEGXVM. (In Russ).

2. Fedyushkin A.V., Pasko S.V. Effektivnost' vzdelyvaniya gorokha Prem'er v zavisimosti ot vnosimyykh mineral'nykh udobrenii i norm poseva [Efficiency of cultivation of Premier peas depending on the applied mineral fertilizers

and sowing rates]. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023; 13(2): 212-227. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-212-227. EDN: CVCWZC. (In Russ).

3. Belyaev V.I., Buksman V.E., Prokopchuk R.E. Effektivnost' primeneniya razlichnykh form azota pri vzdelyvanii yarovogo rapsa i soi v Altaiskom krae [Efficiency of application of various forms of nitrogen in cultivation of spring rape and soybeans in the Altai region]. *Agroindustrial Complex of Upper Volga Region Herald*. 2022; 2(58): 12-18. DOI: 10.35694/YARCX.2022.58.2.002. EDN: AXSNUB. (In Russ).

4. Sychev V.G. et al. Influence of fertilizer systems on soil organic carbon content and crop yield: results of long-term field experiments at the geographical network of research stations in Russia. *Eurasian Soil Science*. 2020; 53(12): 1794-1808.

5. Naliukhin A.N., Smirnova A.A. Vliyanie razlichnykh sistem udobreniya i izvestkovaniya na urozhainost' i khimicheskii sostav klevera lugovogo [Effect of different fertilization and liming systems on the yield and chemical composition of red clover]. *Plodorodie*. 2024; 4(139): 23-26. DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.05. EDN: MYQMDB. (In Russ).

6. Sopha G.A. et al. Influence of lime and phosphorus fertilizer on shallot growth and bulb yield in strongly acid soils in West Java, Indonesia. *Acta Horticulturae*. 2021; (1312): 315-322. DOI: 10.17660/actahortic.2021.1312.46. EDN: TJAVBC.

7. Chebotarev N.T., Brovarova O.V. Effektivnost' mineral'nykh udobrenii i izvesti pri vzdelyvanii mnogoletnikh trav na dernovo-podzolistoi pochve Respubliki Komi [Efficiency of mineral fertilizers and lime in the cultivation of perennial grasses on sod-podzolic soil of the Komi Republic]. *Fodder Production*. 2022; (2): 29-33. EDN: MQYQUN. (In Russ).

8. Lavrisheva T. Vliyanie kompleksnogo udobreniya APAVIVA NPK(S) 15:15:15(10) na urozhainost' i biometricheskie pokazateli salata tsikornogo endiviya (*Cichorium endivia* L.) [Effect of complex fertilizer APAVIVA NPK(S) 15:15:15(10) on yield and biometric parameters of chicory endive salad (*Cichorium endivia* L.)]. *Zemljiste i Biljka*. 2024; 73(1): 39-52. (In Russ).

9. Kondratev V.M. et al. Influence of led lighting power on Indau (*Eruca sativa* (Mill.)). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture. 2021: 032078.

10. Litvinovich A.V. et al. Vliyanie udobrenii i meliorantov na velichinu pochvennoi kislotnosti

dernovo-podzolistoi legkosuglinistoi pochvy, urozhainost' i khimicheskii sostav zelenoi massy yarovogo rapsa (po dannym laboratorno-vegetatsionnogo opyta) [The influence of fertilizers and ameliorants on the value of soil acidity of sod-podzolic light loamy soil, productivity and chemical composition of green mass of spring rape (according to laboratory-vegetation experiment)]. *Agrohimia*. 2024; (5): 37-44. DOI: 10.31857/S0002188124050055. EDN: CZGYTJ. (In Russ).

11. Nelson Q.M., Manakov P.S. Dynamics of pH_{KCl} of reclaimed Umbric Albeluvisol abruptic by ameliorants of various chemical nature. *Zemljiste i Biljka*. 2024; 73(1): 26-38.

12. Lavrishchev A.V. Izuchenie povedeniya stabil'nogo strontsiya v agroekosistemakh Severo-Zapada Rossii [Study of the behavior of stable strontium in agroecosystems of North-West Russia] [Dissertation]. Saint Petersburg; 2016: 272. EDN: XDVS MR. (In Russ).

13. Lavrishchev A.V., Litvinovich A.V. *Stabil'nyi strontsii v agroekosistemakh* [Stable strontium in agroecosystems]. Saint Petersburg: Izd-vo «Lan'»; 2019: 192. ISBN 978-5-8114-3926-3. EDN: PEKRCV. (In Russ).

14. Litvinovich A. et al. Leaching of strontium from albic retisol limed with sr-containing industrial waste. *Zemdirbyste*. 2021; 108(3): 227-232. DOI: 10.13080/z-a.2021.108.029. EDN: UGCCTT.

15. Lavrishchev A. et al. Contamination of the Agroecosystem with Stable Strontium Due to Liming: An Overview and Experimental Data. *Advances in Understanding Soil Degradation*. 2022: 423-449. DOI: 10.1007/978-3-030-85682-3_20. EDN: LLQOQF.

16. Golopyatov M.T., Guryev G.P. Vliyanie kompleksnogo mikroudobreniya Akvamiks i inokulyatsii na produktivnost' i kachestvo sortov gorokha novogo pokoleniya [The influence of complex microfertilizer Aquamix and inoculation on the productivity and quality of new generation pea varieties]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2021; 2(38): 52-58. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-52-58. EDN: IQTXBQ. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Лаврищев А.В. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.

Лаврищева Т.А. – участие в закладке и проведении вегетационного опыта; химический анализ; интерпретация данных; редактирование текста; итоговые выводы.

Клятышева А.И. – участие в закладке и проведении вегетационного опыта; химический анализ; интерпретация данных; доработка текста; итоговые выводы.

AUTHORCONTRIBUTION

Lavrishchev, A.V. – scientific guidance; research concept; development of methodology; writing the original text; final conclusions.

Lavrishcheva, T.A. – participation in the laying and conducting of the vegetation experiment; chemical analysis; interpretation of the data; text editing; final conclusions.

Klyatysheva, A.I. – participation in the laying and conducting of the vegetation experiment; chemical analysis; interpretation of the data; revision of the text; final conclusions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

Информация об авторах

А.В. Лаврищев – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; AuthorID 644987.

Т.А. Лаврищева – кандидат сельскохозяйственных наук; AuthorID 821759.

А.И. Клятышева – AuthorID 1103799.

Information about the author

A.V. Lavrishchev – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor; AuthorID 644987.

T.A. Lavrishcheva – Candidate of Agricultural Sciences; AuthorID 821759.

A.I. Klyatysheva – AuthorID 1103799.

Статья поступила в редакцию 12.11.2024; одобрена после рецензирования 13.12.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 12.11.2024; approved after reviewing 13.12.2024; accepted for publication 17.12.2024.

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 14–23
Vestnik Kurganskoj GSNA. 2024; (4-52): 14–23

Научная статья

УДК 636.08.003:636.2.034
Код ВАК 4.2.4

EDN: BINDIG

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ МЯСА БЫЧКОВ ГЕРЕФОРДСКОЙ И АБЕРДИН-АНГУССКОЙ ПОРОД

Елена Ивановна Алексеева^{1✉}, Светлана Фаилевна Суханова²,
Виталий Юрьевич Морозов²

¹ Курганский государственный университет, Курган, Россия

² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин,
Россия

¹ AlekseevaElena@yandex.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-7717-3343>

² nauka007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4921-1725>

³ supermoroz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3688-1546>

Аннотация. Целью работы являлось изучение биологической ценности мяса, полученного от бычков абердин-ангусской и герефордской пород в различные возрастные периоды. Исследования проводились в скотоводческих хозяйствах Курганской области на молодняке абердин-ангусской и герефордской пород. Для проведения исследований были сформированы группы бычков в возрасте 12 месяцев по 9 голов в каждой: I группа – бычки абердин-ангусской породы; II группа – бычки герефордской породы. Животные в группах были аналогами по возрасту и живой массе. Условия содержания и кормления бычков обеих пород были одинаковыми. Контрольный убой бычков был проведен в возрасте 12 и 18 месяцев. Для убоя брали по три головы в каждый возрастной период. Содержание аминокислот определяли в средней пробе длиннейшей мышцы спины животных методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Установлено, что мясо, полученное от молодняки в возрасте 12 и 18 месяцев, является более полноценным по аминокислотному составу, что подтверждается белково-качественным показателем, который был в пределах 5,55–5,73 и 5,34–5,49, отношением «метионин : триптофан» – 1,22 и 1,23, аминокислотным скором – 19,10–40,67 % и 18,19–40,00 % соответственно. Высокие показатели белково-качественных характеристик свидетельствуют о достоинствах мяса бычков абердин-ангусской и герефордской пород. Показатели аминокислотного индекса и индекса незаменимых аминокислот мяса, полученного от животных абердин-ангусской и герефордской пород в возрасте 12 и 18 месяцев, указывают на его высокую питательную ценность. Мясо 18-месячных бычков обеих изучаемых пород имеет более выраженные качественные параметры.

Ключевые слова: бычки, абердин-ангусская порода, герефордская порода, биологическая ценность, аминокислота, белковый качественный показатель, аминокислотный скор.

Благодарности: работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева». Дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Для цитирования: Алексеева Е.И., Суханова С.Ф., Морозов В.Ю. Биологическая ценность мяса бычков герефордской и абердин-ангусской пород // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 14–23. EDN: BINDIG.

Scientific article

BIOLOGICAL VALUE OF THE MEAT OF HEREFORD AND ABERDEEN ANGUS BULL CALVES

Elena I. Alekseeva^{1✉}, Svetlana F. Sukhanova², Vitaly Yu. Morozov²

¹ Kurgan state university, Kurgan, Russia

² Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

¹ AlekseevaElena@yandex.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-7717-3343>

² nauka007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4921-1725>

³ supermoroz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3688-1546>

Abstract. The purpose of the work was to study the biological value of meat obtained from bull calves of the Aberdeen Angus and Hereford breeds at various age periods. The research was carried out in the cattle farms of the Kurgan region in young animals of the Aberdeen Angus and Hereford breeds. To conduct the research, the groups of bull calves at the age of 12 months with 9 heads each were formed: Group I – bull calves of the Aberdeen Angus breed; Group II – bull calves of the Hereford breed. The animals in the groups were similar in age and body weight.

© Алексеева Е.И., Суханова С.Ф., Морозов В.Ю., 2024

The conditions of keeping and feeding the bull calves of both breeds were the same. The control slaughter of the bulls was carried out at the ages of 12 and 18 months. Three heads were taken for slaughter at each age period. The amino acid content was determined in an average sample of the rib eye muscle of the animals by high-performance liquid chromatography. It was found that the meat obtained from the young animals aged 12 and 18 months is more complete in amino acid composition, which is confirmed by the protein-quality index, being in the range of 5.55–5.73 and 5.34–5.49, the ratio 'methionine : tryptophan' – 1.22 and 1.23, the amino acid ratio – 19.10–40.67% and 18.19–40.00%, respectively. High indicators of protein-quality characteristics indicate the advantages of the beef of the Aberdeen Angus and Hereford breeds. The indicators of the amino acid index and the index of essential amino acids of the meat obtained from the animals of the Aberdeen Angus and Hereford breeds at the age of 12 and 18 months indicate its high nutritional value. The meat of 18-month-old bulls of both breeds under study has more pronounced qualitative parameters.

Keywords: bull calves, Aberdeen Angus breed, Hereford breed, biological value, amino acid, protein quality index, amino acid score.

Acknowledgments: the work was funded from the budget of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev'. No additional grants have been received to conduct or direct this particular study.

For citation: Alekseeva E.I., Sukhanova S.F., Morozov V.Yu. Biological value of the meat of hereford and aberdeen angus bull calves. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2024; (4-52): 14–23. EDN: BIHDIG. (In Russ).

Введение. Для производства качественных мясных продуктов необходимо использовать говядину, получаемую от специализированных мясных пород скота [1–3]. Мясо таких животных имеет высокую пищевую и биологическую ценность. На последнюю оказывают влияние тип кормления, возраст, порода, пол животного [4; 5]. Кроме того, на животных воздействуют различные факторы, которые определяют не только количественные показатели, характеризующие питательные свойства получаемой продукции, но и отображающие ее качество, а именно аминокислотный состав [6; 7]. По мнению ряда авторов, наиболее ценную в пищевом отношении говядину получают от специализированного мясного крупного рогатого скота, так как она характеризуется оптимальным соотношением заменимых и незаменимых аминокислот [1; 8; 9]. В связи с этим необходимо изучение биологической ценности мяса молодняка крупного рогатого скота для формирования представления о его качественном составе и факторах, оказывающих на него влияние.

Незаменимые аминокислоты, входящие в состав белков, поддерживают рост животных, что связано с их участием в биологическом синтезе белка. Недостаток в рационе животного хотя бы одной из этих аминокислот может привести к снижению массы тела и задержке его развития. Аргинин, гистидин, валин, лизин, пролин и цистеин обеспечивают рост животного. Недостаточность гистидина способствует развитию анемии, изолейцина и треонина – снижению живой массы, высокому диурезу, лейцина – задержке роста и развития, лизина – сокращению роста костной ткани, метионина – анемии, атрофии мышц. Заменимые аминокислоты синтезируются организмом, но при различных неблагоприятных факторах их выработка снижается, что приводит к нежелательным последствиям. Так, уменьшение в организме концентрации аргинина влечет за собой нарушение роста и эректильную дисфункцию, а снижение глутамината – потерю мышечной массы, таурина – нарушение работы желудочно-

кишечного тракта, триптофана – анемию, цистеина – нарушение функций кожи. В связи с этим важность изучения аминокислотного состава с целью оценки биологической ценности мяса очевидна. Учеными проведены исследования по содержанию аминокислот в мясе крупного рогатого скота абердин-ангусской и герефордской пород. В ходе эксперимента В. В. Толочка и др. (2024) [10] установили, что в мясе бычков абердин-ангусской породы содержание триптофана составляло 412,20 мг %, а оксипролина – 59,74 мг %, у сверстников герефордской породы – 399,82 и 61,42 мг % соответственно, разница по белковому качественному показателю (БКП) составила 5,66 % в пользу молодняка абердин-ангусской породы. А. В. Емельяненко и др. (2020) [11] выявили, что в мясе молодняка герефордской породы содержание триптофана было 347,79 мг %, оксипролина – 51,37 мг %, значение белкового качественного показателя оказалось 7,37. По данным Д. А. Ранделина с соавторами (2009), говядина, полученная от бычков абердин-ангусской породы, содержала 458,03 мг % триптофана и 62,37 мг % оксипролина, а БКП составил 7,34. И. Г. Зубко и др. (2016) [13] установили, что БКП мяса молодняка абердин-ангусской и герефордской пород в 18-месячном возрасте составлял 5,5 и 5,4 соответственно.

Таким образом, определение биологической ценности мяса по содержанию аминокислот в нем оказывается в фокусе исследовательского внимания многих ученых, но их данные по этому вопросу различны. В связи с этим целью нашей работы являлось изучение биологической ценности мяса бычков абердин-ангусской и герефордской пород в различные возрастные периоды.

Материалы и методы. Исследования проводились в скотоводческих хозяйствах Курганской области на молодняке абердин-ангусской и герефордской пород по методикам, описанным А. И. Овсянниковым (1976) [14] и ГОСТ 24026-80 [15]. Схема проведенных исследований представлена на рисунке 1.

Для проведения исследований были сфор-

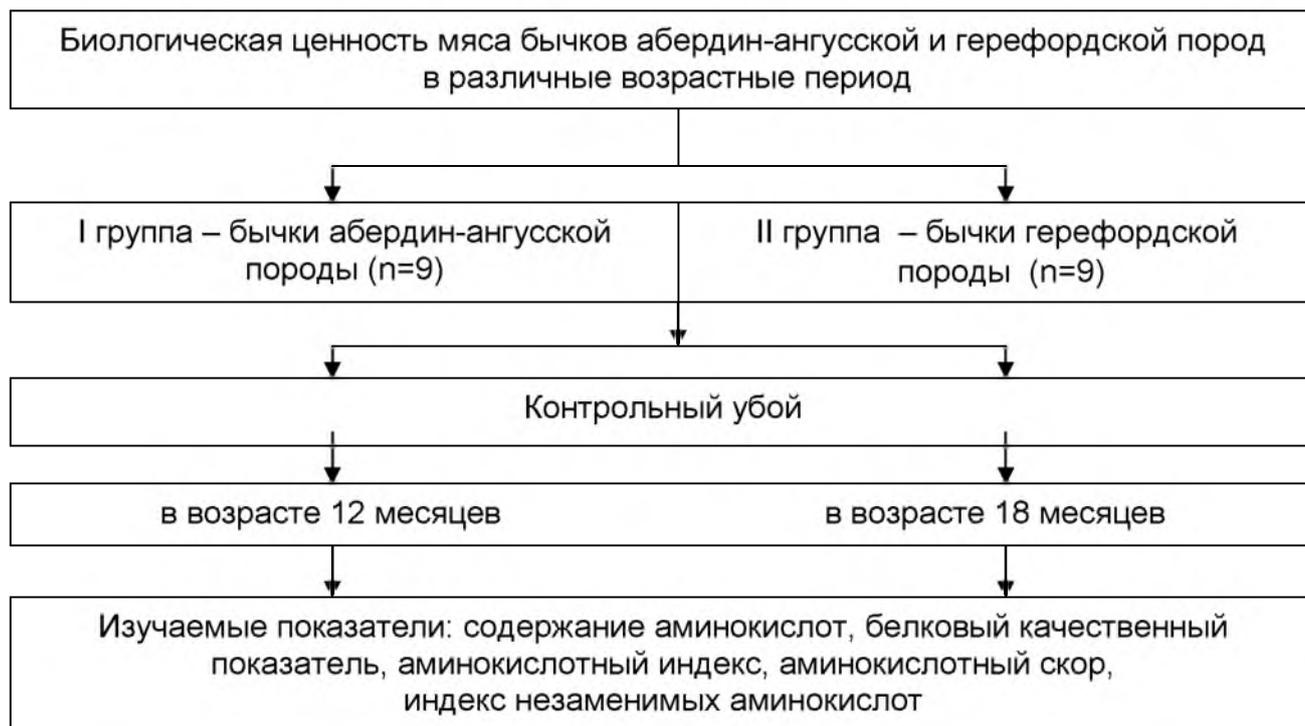


Рисунок 1 – Схема проведенных исследований

мированы группы бычков в возрасте 12 месяцев по 9 голов в каждой: I группа – бычки абердин-ангусской породы; II группа – бычки герефордской породы. Животные в группах были аналогами по возрасту и живой массе. В возрасте 12 месяцев живая масса бычков абердин-ангусской породы составляла 335 кг, герефордской породы – 365 кг, в 18 месяцев – 470 и 500 кг соответственно. Условия содержания и кормления бычков обеих пород были одинаковыми. Молодняк держали в загонах, оборудованных кормушками и поилками, без выпаса. Животных кормили два раза в сутки: утром 60 % от нормы общей дачи кормов и вечером – 40 % кормов. Структура рациона была следующей: грубые корма (сено) – 10 %, сочные корма (сенаж) – 40 %, концентрированные корма – 50 %. Контрольный убой бычков был проведен в возрасте 12 и 18 месяцев по три головы в каждый возрастной период. Содержание аминокислот определяли в средней пробе длиннейшей мышцы спины животных методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Пробы для исследований отбирали методом квартования согласно ГОСТ 33818-2016 [16].

Биологическую ценность мяса определяли путем расчета белково-качественного показателя, аминокислотного индекса, аминокислотного скор, индекса незаменимых аминокислот [17;18].

Белково-качественный показатель мяса рассчитывали по формуле:

$$БКП = \frac{C_T}{C_O}, \quad (1)$$

где $БКП$ – белково-качественный показатель;
 C_T – содержание триптофана, г/100 г;
 C_O – содержание оксипролина, г/100 г.
 Аминокислотный индекс определяли по формуле [18]:

$$АИ = \frac{C_{ЗАК}}{C_{НАК}}, \quad (2)$$

где $АИ$ – аминокислотный индекс;
 $C_{ЗАК}$ – суммарное содержание заменимых аминокислот, г/100 г;
 $C_{НАК}$ – суммарное содержание незаменимых аминокислот, г/100 г.

Аминокислотный скор рассчитывали по формуле, предложенной Mitchell, Block (1946) [18]:

$$АКС = \frac{C_{НАК}}{C_э} \times 100\%, \quad (3)$$

где $АКС$ – аминокислотный скор;
 $C_{НАК}$ – содержание незаменимой аминокислоты в исследуемом образце, г/100 г;
 $C_э$ – содержание незаменимой аминокислоты в идеальном белке, г/100 г.

Индекс незаменимых аминокислот (ИНАК) определяли по формуле, разработанной Oser (1951) [18]:

$$ИНАК = \sqrt{\frac{C_{Val} \times C_{Ile} (C_{Met} + C_{Cys}) \times C_{Leu} \times C_{Thr} \times C_{Trp} (C_{Phe} + C_{Tyr})}{C_{Val} \times C_{Ile} (C_{Met} + C_{Cys}) \times C_{Leu} \times C_{Thr} \times C_{Trp} (C_{Phe} + C_{Tyr})}}, \quad (4)$$

где ИНАК – индекс незаменимых аминокислот;

$C_{Val}, C_{Ile}, C_{Met}, C_{Cys}, C_{Leu}, C_{Thr}, C_{Trp}, C_{Phe}, C_{Tyr}$ – концентрация валина, изолейцина, метионина, цистина, лейцина, треонина, триптофана, фенилаланина, тирозина в исследуемом образце, г/100 г;

$C_{Val}, C_{Ile}, C_{Met}, C_{Cys}, C_{Leu}, C_{Thr}, C_{Trp}, C_{Phe}, C_{Tyr}$ – концентрация валина, изолейцина, метионина, цистина, лейцина, треонина, триптофана, фенилаланина, тирозина в идеальном белке, г/100 г [19].

ИНАК «идеального» белка равен 1; при значении индекса незаменимых аминокислот 0 белок характеризуется как неполноценный; $0 < ИНАК < 1$ – белок «хорошего» качества [20].

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных производилась с использованием компьютерной программы «Excel» по ГОСТ Р ИСО 3534-1-2019 [21]. Были рассчитаны среднее значение показателя (\bar{x}), ошибка среднего значения ($S\bar{x}$), коэффициент вариации ($Cv, \%$).

Результаты исследований и их обсуждение. Проведенными исследованиями установлено, что в мясе бычков абердин-ангусской породы в возрасте 18 месяцев в сравнении с 12-месячными животными, отмечено большее содержание таких незаменимых аминокислот, как валин, лейцин, изолейцин и фенилаланин, разница составила 6,82 % ($P > 0,05$), 3,60 %, 1,25 % соответственно (рисунок 2). Концентрация лизина, метионина, триптофана в мясе бычков абердин-ангусской породы 12- и 18-месячного возраста была одинакова – 1,78, 0,50 и 0,41 г/100 г мяса [22]. Большее

содержание гистидина и треонина выявлено в мясе, полученном от молодняка в возрасте 12 месяцев, различие составило 1,10 и 1,09 % соответственно.

Установлено, что мясо бычков абердин-ангусской породы 18-месячного возраста в сравнении с мясом, полученным от бычков 12-месячного возраста, содержало большее количество серина, глицина, тирозина, аспаргиновой кислоты, аланина на 5,00; 3,37; 2,20; 1,97; 1,63 % соответственно. В мясе 12-месячного молодняка абердин-ангусской породы в сравнении с мясом, полученным от 18-месячных животных, обнаружено большее количество глутаминовой кислоты, оксипролина, аргинина на 2,36; 2,74 и 2,56 % соответственно. Содержание цистина в мясе животных изучаемых возрастов было одинаковое и составило 0,22 г/100 г.

из рисунков 3 и 4 видно, что в мясе бычков абердин-ангусской породы 12- и 18-месячного возраста содержится больше всего глутамин – 16,00 и 15,47 %, аспаргиновой кислоты – 10,70 и 10,83 %, лизина – 9,57 и 9,50 %, аргинина – 8,39 и 8,11 %, лейцина – 7,20 и 7,42 %, аланина – 6,50 и 6,56 % от общего содержания всех аминокислот соответственно. На долю остальных аминокислот приходится от 0,40 до 4,90 %

Известно, что способ оценки биологической ценности мяса основан на определении концентрации триптофана и оксипролина. Отношение аминокислот «триптофан : оксипролин», или белково-качественный показатель мяса (БКП) у молодняка абердин-ангусской породы 12-месячного возраста составил 5,55, а у бычков этой же породы 18-месячного возраста – 5,73, разница 3,14 % (таблица 1).

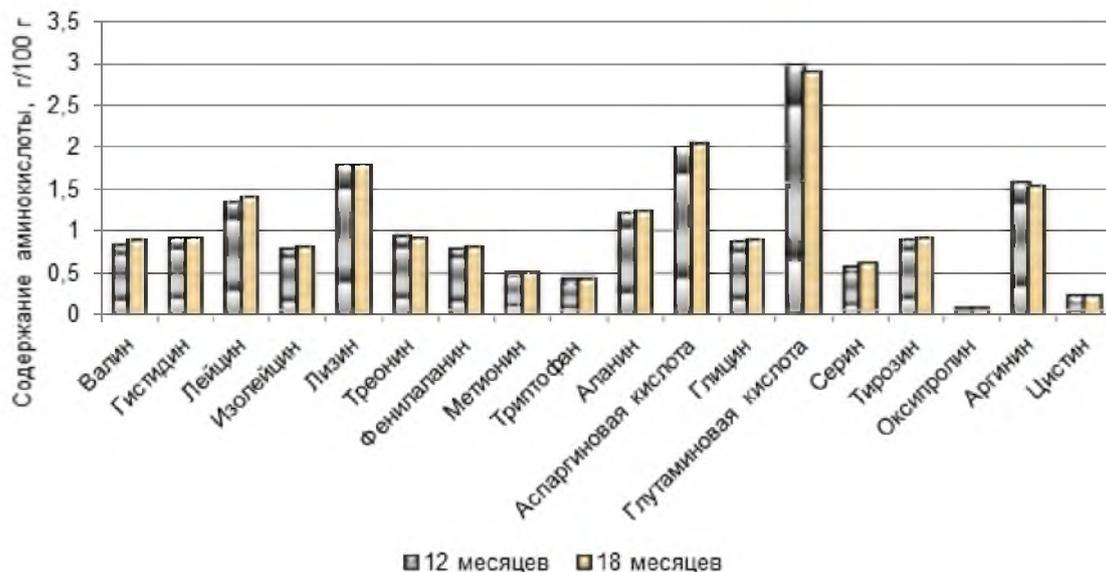


Рисунок 2 – Содержание аминокислот в мясе бычков абердин-ангусской породы в 12 и 18-месячном возрасте (г/100 г)

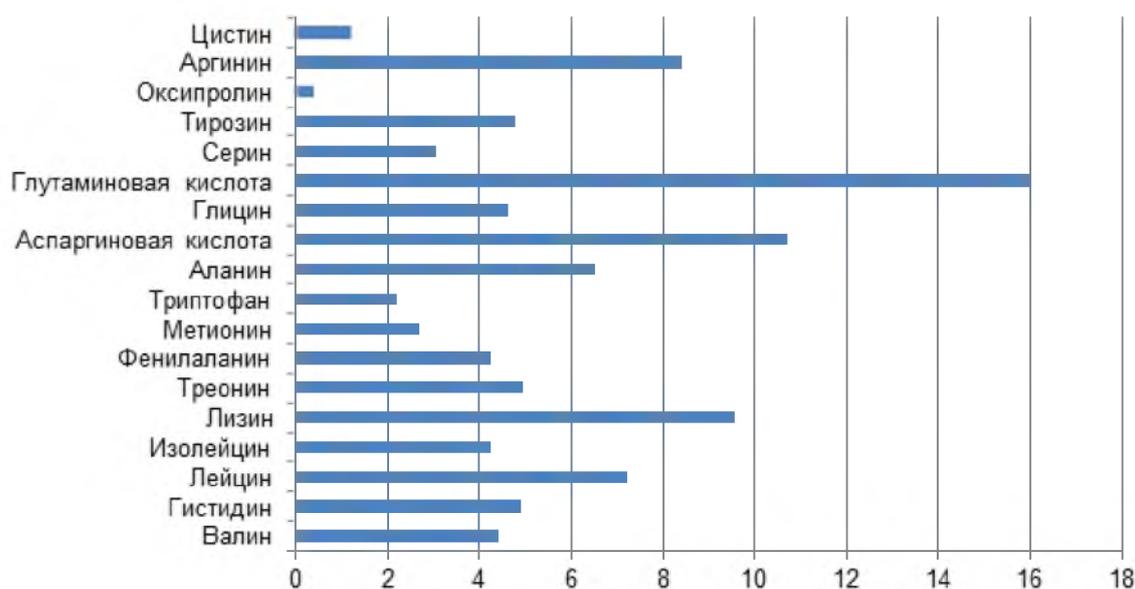


Рисунок 3 – Аминокислотный состав мяса бычков абердин-ангусской породы 12-месячного возраста, %

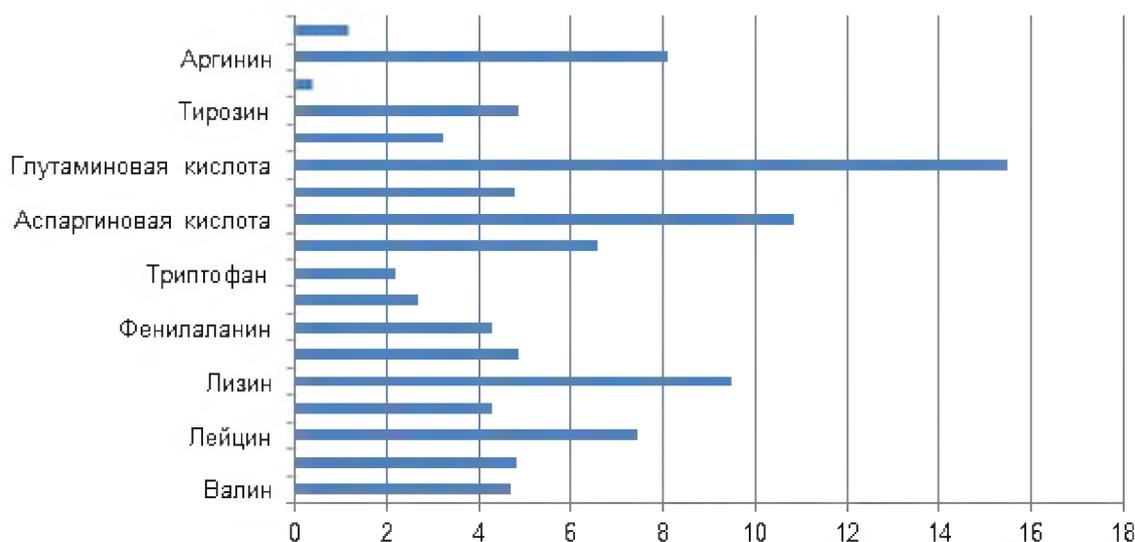


Рисунок 4 – Аминокислотный состав мяса бычков абердин-ангусской породы 18-месячного возраста, %

Таблица 1 – Биологическая ценность мяса, полученного от бычков абердин-ангусской породы

Показатель	Возраст животных			
	12 месяцев		18 месяцев	
	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	Cv, %	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	Cv, %
БКП	5,55±0,09	2,88	5,73±0,07	2,2
Отношение «метионин : триптофан»	1,23±0,02	3,3	1,22±0,02	3,3
АИ	0,56±0,01	3,7	0,57±0,01	3,7
АКС валин	20,42±0,36	3,1	22,08±0,36	3,1
АКС изолейцин	19,83±0,36	3,2	20,08±0,36	3,2
АКС метионин + цистеин	20,67±0,48	4,0	20,48±0,48	4,0
АКС лейцин	19,10±0,62	5,7	19,81±0,62	5,7
АКС треонин	23,08±0,44	3,3	22,75±0,44	3,3
АКС триптофан	40,67±0,33	1,4	40,67±0,33	1,4
АКС фенилаланин + тирозин	28,11±0,43	2,7	28,44±0,43	2,7
ИНАК	0,28±0,003	1,9	0,28±0,003	1,9

Отношение «метионин : триптофан» у животных абердин-ангусской породы в 12 месяцев составило 1,23, а в 18 месяцев – 1,22. Аминокислотный индекс мяса 18-месячных бычков абердин-ангусской породы на 1,75 % был больше, чем у 12-месячного молодняка. Аминокислотный скор таких аминокислот, как валин, изолейцин, лейцин, фенилаланин и тирозин, у бычков в возрасте 18 месяцев превышал показатель 12-месячных животных на 7,52; 1,25; 3,58; 1,16 % соответственно. Аминокислотный скор триптофана у молодняка абердин-ангусской породы в 12 и 18 месяцев был одинаковым. Полученное значение ИНАК указывает на «хорошее» качество белка.

На рисунке 5 приведены данные по содержанию аминокислот в мясе бычков герефордской породы разного возраста. Установлено, что в мясе молодняка 18-месячного возраста герефордской породы в сравнении с животными 12-месячного возраста превалировало содержание лейцина (на 5,22 % ($P>0,05$), тирозина (на 4,44 %), фенилаланина (на 3,57 %), гистидина (на 3,19 %), оксипролина (на 2,67 %), глутаминовой кислоты (на 2,26 %), аспаргиновой кислоты (на 1,48 %), глицина (на 1,15 %). Содержание метионина и триптофана в мясе исследуемых животных обоих возрастов было одинаково – 0,49 и 0,40 г/100 г соответственно. У бычков 12-месячного возраста выявлено большее содержание валина, изолейцина, лизина и треонина, по сравнению с животными 18-месячного возраста на 8,08 ($P>0,05$); 1,27; 1,10 и 1,01 % соответственно. При этом у бычков герефордской породы обоих возрастов было одинаковое количество аргинина (1,65 г/100 г), аланина – (1,15 г/100 г), серина – (0,39 г/100 г), цистина (0,20 г/100 г).

Из рисунков 6 и 7 следует, что в мясе молод-

няка герефордской породы 12- и 18-месячного возраста содержится больше всего глутамин – 14,24 и 14,45 %, аспаргиновой кислоты – 10,96 и 11,03 %, лизина – 9,97 и 9,78 %, аргинина – 9,03 и 8,97%, лейцина – 6,97 и 7,28 %, аланина – 6,30 и 6,25 % соответственно от общего содержания всех аминокислот. На долю других аминокислот приходится от 0,40 до 5,42 %

Выявлено, что БКП мяса был больше у молодняка герефордской породы 18-месячного возраста (5,49), по сравнению с 12-месячными бычками, на 0,06 (таблица 2). Показатели «метионин : триптофан» и аминокислотный индекс у исследуемых животных составили 1,22 и 0,59 соответственно в 12 и 18 месяцев.

По аминокислотному скору валина, изолейцина, треонина большие значения были у животных 12-месячного возраста в сравнении с бычками в возрасте 18 месяцев на 8,40; 1,66 и 0,36 % соответственно. Аминокислотный скор кислот метионин+цистеин, триптофану молодняка обоих изучаемых возрастов был одинаковым. Полученное значение ИНАК мяса бычков герефордской породы указывает на «хорошее» качество белка.

Заключение. Результаты проведенного исследования указывают на то, что мясо, получаемое от молодняка абердин-ангусской и герефордской пород, было ценным в биологическом отношении. Высокие показатели белково-качественных характеристик свидетельствуют о достоинствах мяса бычков абердин-ангусской и герефордской пород, что имеет важное значение для пищевой индустрии и здоровья потребителей.

Показатели аминокислотного индекса и индекса незаменимых аминокислот мяса, полученного от животных абердин-ангусской и герефорд-

Таблица 2 – Биологическая ценность мяса, полученного от бычков герефордской породы

Показатель	Возраст животных			
	12 месяцев		18 месяцев	
	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	Cv, %	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	Cv, %
БКП	5,34±0,25	8,2	5,49±0,23	7,2
Отношение «метионин : триптофан»	1,22±0,05	7,4	1,22±0,05	7,4
АИ	0,59±0,01	1,9	0,59±0,01	1,9
АКС валин	24,75±1,42	10,0	22,67±1,42	10,0
АКС изолейцин	19,83±0,22	1,9	19,50±0,22	1,9
АКС метионин + цистеин	19,52±0,38	3,4	19,52±0,38	3,4
АКС лейцин	18,19±0,29	2,8	19,14±0,29	2,8
АКС треонин	24,67±1,45	10,2	24,58±1,45	10,2
АКС триптофан	40,00±1,73	7,5	40,00±1,73	7,5
АКС фенилаланин + тирозин	27,89±1,06	6,6	28,94±1,06	6,6
ИНАК	0,28±0,003	2,4	0,28±0,003	2,4

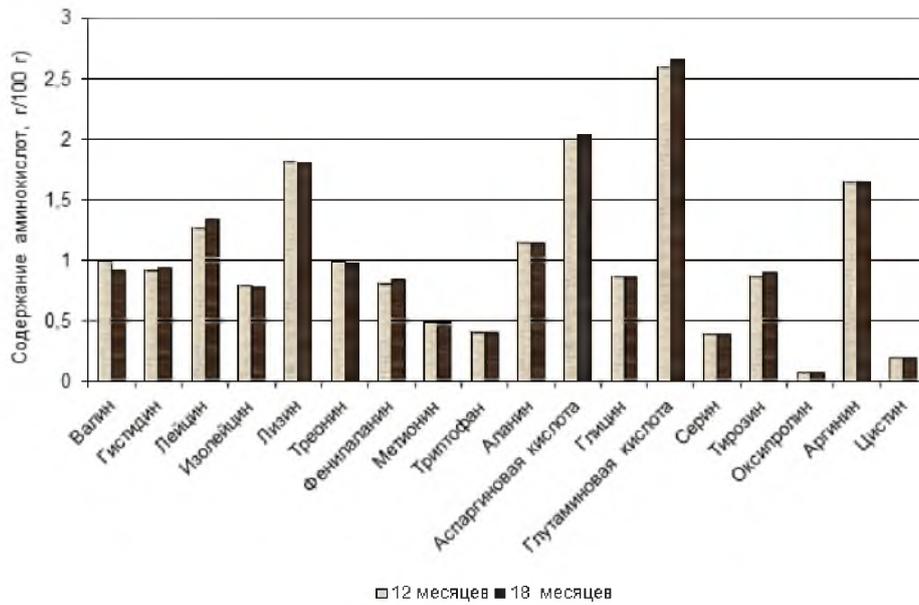


Рисунок 5 – Содержание аминокислот в мясе бычков герефордской породы в 12- и 18-месячном возрасте (г/100 г)

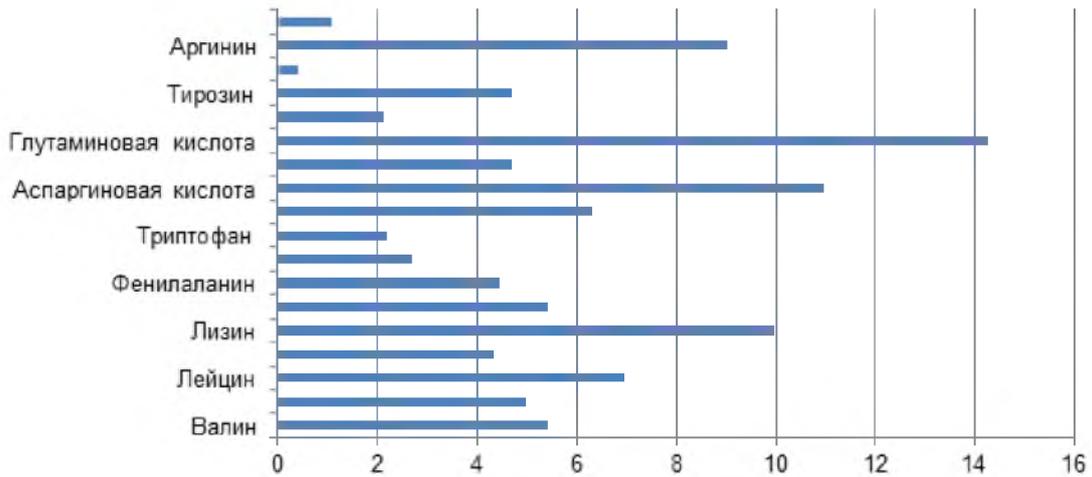


Рисунок 6 – Аминокислотный состав мяса бычков герефордской породы в 12-месячном возрасте, %

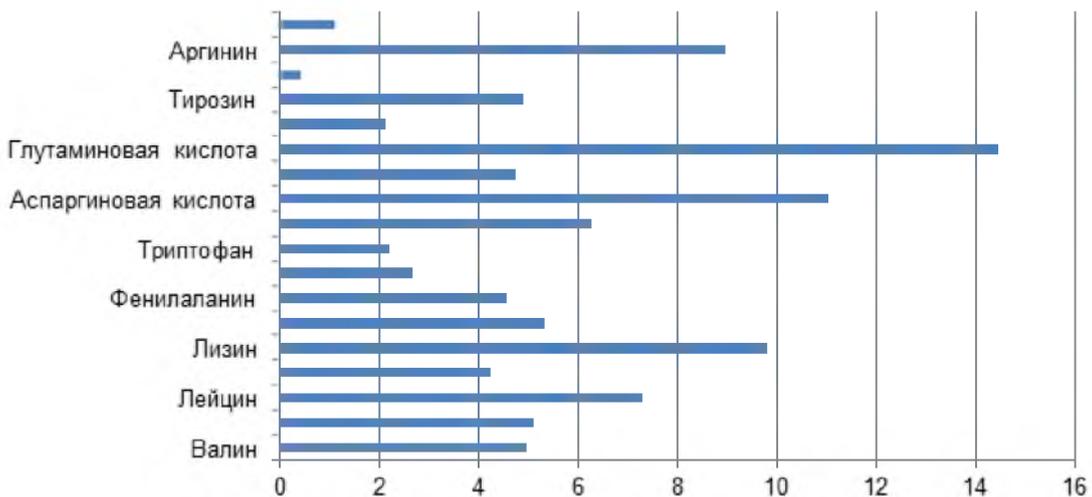


Рисунок 7 – Аминокислотный состав мяса бычков герефордской породы в 18-месячном возрасте, %

ской пород в возрасте 12 и 18 месяцев, указывают на его высокую питательную ценность. Мясо 18-месячных бычков обеих изучаемых пород имеет более выраженные качественные параметры. Это открывает возможности для дальнейших исследований в области технологии кормления и содержания крупного рогатого скота, направленных на улучшение пищевой ценности мяса.

Список источников

1. Alekseeva E., Kolchina V. Amino acid composition of beef obtained from the specialized meat cattle // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019. Vol. 341. P. 012136. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012136. EDN: MGWSMY.
2. Сафонов С.Н. Эффективные технологии мясного скотоводства в условиях Курганской области // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 40-46. EDN: LUKVDS.
3. Шевелева О.М., Логинов С.В., Иваков М.С. Породный состав и продуктивность крупного рогатого скота мясного направления продуктивности в Тюменской области // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 3 (43). С. 57-63. DOI: 10.52463/22274227_2022_43_57. EDN: NOFXIZ.
4. Sukhanova S.F., Bischokov R.M. Identifying Mobile Indicators that Reflect the Functioning of Biological Systems Depending on the Environmental Factors // International scientific and practical conference «Agro-SMART – Smart solutions for agriculture» (Agro-SMART 2018). 2018. Vol. 151. P. 95-100. DOI: 10.2991/agrosmart-18.2018.19. EDN: XHHSVM.
5. Бисчоков Р.М., Суханова С.Ф. Основные факторы, оказывающие влияние на биологические объекты // Научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса в реализации Государственной программы развития сельского хозяйства до 2020 года: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Курганской ГСХА имени Т.С. Мальцева. Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2019. С. 413-418. EDN: FCZEAS.
6. Суханова С.Ф., Лещук Т.Л., Бисчоков Р.М. Математическое обоснование действия внешних факторов, влияющих на биологический объект // Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 1 (29). С. 46-50. EDN: OUIJZV.
7. Мясная продуктивность и качество мяса молодняка калмыцкой и лимузинской пород в условиях предгорной зоны Чеченской Республики / М.О. Байтаев [и др.] // Вестник Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова. 2015. № 3 (19). С. 112-116. EDN: VCQDVL.
8. Суханова С.Ф., Засыпкин А.Л. Пищевая ценность компонентов свинины в связи с использованием добавки Ветвитал В // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2018. № 8. С. 9-16. EDN: YACNYT.
9. Суханова С.Ф., Алексеева Е.И. Продуктивные качества мясного скота в условиях Зауралья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 10 (156). С. 161-167. EDN: ZIFVCN.
10. Влияние генотипа бычков на биологическую полноценность физико-химические и технологические свойства длинной мышцы спины / В.В. Толочка [и др.] // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2024. № 3 (76). С. 58-63. DOI: 10.34655/bgsha.2024.76.3.008. EDN: JLUVRT.
11. Емельяненко А.В., Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф. Химический состав и биологическая ценность мяса бычков мясных пород // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (83). С. 318-320/ DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-318-321. EDN: QKCCBO.
12. Ранделин Д.А., Николаев С., Суторма О.А. Химический и биохимический состав мяса бычков черно-пестрой, абердин-ангусской пород и их помесей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2007. № 2 (6). С. 48-51. EDN: MRMWZV.
13. Зубко И.Г., Танана Л.А., Пресняк А.Р. Аминокислотный состав и показатели безопасности мяса бычков различных генотипов // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2016. Т. 5. № 1. С. 8-13. EDN: VWLQDL.
14. Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве. М.: Колос, 1976. 304 с.
15. ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. 19 с.
16. ГОСТ 33818-2016 Мясо. Говядина высококачественная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
17. Прижизненная и послеубойная оценка мясной продуктивности крупного рогатого скота / Под ред. Н.В. Борисова, Б.О. Инербаева. Новосибирск, 2005. 169 с.
18. Пищевая химия: учебник / А.П. Нечаев [и др.] / Под ред. А.П. Нечаева. 5-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2012. 672 с. ISBN: 978-5-98879-143-0.
19. Алексеева Е.И., Лещук Т.Л. Белковая ценность мяса крупного рогатого скота // Безопасность

сырья и продуктов питания в современном аспекте: сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган: Изд-во Курганского ГУ, 2023. С. 51-57. EDN: YWKJIO.

20. Никитина М.А., Зверев С.В. Оценка качества животного белка // Все о мясе. 2018. № 1. С. 50-55. DOI: 10.21323/2071-2499-2018-1-50-55. EDN: YWEMAU.

21. ГОСТ Р ИСО 3534-1-2019 Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей. М.: Стандартинформ, 2020. 66 с.

22. Аминокислотный состав говядины, полученной от скота специализированных мясных пород / Е.И. Алексеева [и др.] // Главный зоотехник. 2022. № 8 (229). С. 3-10. DOI: 10.33920/sel-03-2208-01. EDN: YMPWPJ.

References

1. Alekseeva E., Kolchina V. Amino acid composition of beef obtained from the specialized meat cattle. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019*. 2019; (341): 012136. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012136. EDN: MGWSMY.

2. Safonov S.N. Effektivnye tekhnologii myasnogo skotovodstva v usloviyakh Kurganskoy oblasti [Effective technologies of beef cattle breeding in the conditions of the Kurgan region]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2023; 1(45): 40-46. EDN: LUKVDS. (In Russ).

3. Sheveleva O.M., Loginov S.V., Ivakov M.S. Porodnyi sostav i produktivnost' krupnogo rogatogo skota myasnogo napravleniya produktivnosti v Tyumenskoy oblasti [Breed composition and productivity of beef cattle in the Tyumen region]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2022; 3(43): 57-63. DOI: 10.52463/22274227_2022_43_57. EDN: NOFXIZ. (In Russ).

4. Sukhanova S.F., Bischokov R.M. Identifying Mobile Indicators that Reflect the Functioning of Biological Systems Depending on the Environmental Factors. *International scientific and practical conference «Agro-SMART - Smart solutions for agriculture» (Agro-SMART 2018)*. 2018; (151): 95-100. DOI: 10.2991/agrosmart-18.2018.19. EDN: XHHSVM.

5. Bischokov R.M., Sukhanova S.F. Osnovnye faktory, okazyvayushchie vliyanie na biologicheskie ob"ekty [The main factors influencing biological objects]. A collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev «Scientific and technical support for the agro-industrial complex in the implementation of the State Program for the Development of Agriculture until 2020».

Kurgan: Kurganskaya GSKhA; 2019: 413-418. EDN: FCZEAS. (In Russ).

6. Sukhanova S.F., Leshchuk T.L., Bischokov R.M. Matematicheskoe obosnovanie deistviya vneshnikh faktorov, vliyayushchikh na biologicheskii ob"ekt [Mathematical justification of the action of external factors influencing a biological object]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2019; 1(29): 46-50. EDN: OUJIZV. (In Russ).

7. Baytaev M.O. et al. Myasnaya produktivnost' i kachestvo myasa molodnyaka kalmytskoi i limuzinskoi porod v usloviyakh predgornoi zony Chechenskoy Respubliki [Meat productivity and meat quality of young Kalmyk and Limousin breeds in the conditions of the foothill zone of the Chechen Republic]. *Vestnik Chechenskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.A. Kadyrova*. 2015; 3(19): 112-116. EDN: VCQDVL. (In Russ).

8. Sukhanova S.F., Zasytkin A.L. Pishchevaya tsennost' komponentov svininy v svyazi s ispol'zovaniem dobavki Vetvital V [Nutritional value of pork components in connection with the use of the additive Vetvital B]. *Feeding of agricultural animals and feed production*. 2018; (8): 9-16. EDN: YACNYT. (In Russ).

9. Sukhanova S.F., Alekseeva E.I. Produktivnye kachestva myasnogo skota v usloviyakh Zaural'ya [Productive qualities of beef cattle in the conditions of the Trans-Urals]. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017; 10(156): 161-167. EDN: ZIFVCN. (In Russ).

10. Tolochka V.V. et al. Vliyanie genotipa bychkov na biologicheskuyu polnotsennost' fiziko-khimicheskie i tekhnologicheskie svoystva dlinneishei myshtsy spiny [The influence of the genotype of bulls on the biological value, physical, chemical and technological properties of the longest muscle of the back]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova*. 2024; 3(76): 58-63. DOI: 10.34655/bgsha.2024.76.3.008. EDN: JLUVRT. (In Russ).

11. Emelyanenko A.V., Kayumov F.G., Tretyakova R.F. Khimicheskii sostav i biologicheskaya tsennost' myasa bychkov myasnykh porod [Chemical composition and biological value of meat of bulls of meat breeds]. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; 3(83): 318-320. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-318-321. EDN: QKCCBO. (In Russ).

12. Randelin D.A., Nikolaev S., Sutorma O.A. Khimicheskii i biokhimicheskii sostav myasa bychkov cherno-pestroi, aberdin-angusskoi porod i ikh pomesei [Chemical and biochemical composition of meat of bulls of Black-and-White, Aberdeen-Angus breeds and their crosses]. *Proceedings of lower volga agro-university complex: science and higher education*. 2007; 2(6): 48-51. EDN: MRMWZV. (In Russ).

13. Zubko I.G., Tanana L.A., Presnyak A.R. Aminokislotnyi sostav i pokazateli bezopasnosti myasa bychkov razlichnykh genotipov [Amino acid composition and safety indicators of meat of bulls of different

genotypes]. Collection of scientific papers of the North Caucasian Research Institute of Animal Husbandry. 2016; 5(1): 8-13. EDN: VWLQDL. (In Russ).

14. Ovsyannikov A.I. *Osnovy opytnogo dela v zhivotnovodstve* [Basics of experimental work in animal husbandry]. M.: Kolos; 1976: 304. (In Russ).

15. GOST 24026-80 *Issledovatel'skie ispytaniya. Planirovanie eksperimenta. Terminy i opredeleniya* [Research tests. Experimental planning. Terms and definitions.]. M.: Gosudarstvennyi komitet SSSR po upravleniyu kachestvom produktsii i standartam; 1991: 19. (In Russ).

16. GOST 33818-2016 *Myaso. Govyadina vysokokachestvennaya. Tekhnicheskie usloviya* [Meat. High-quality beef. Technical conditions]. M.: Standartinform; 2019: 12. (In Russ).

17. *Prizhiznennaya i posleuboinavaya otsenka myasnoi produktivnosti krupnogo rogatogo skota* [Intravital and post-slaughter assessment of beef productivity of cattle] In: N.V. Borisova, B.O. Inerbaeva, editors. Novosibirsk; 2005: 169. (In Russ).

18. Nechaev A.P. et al. *Pishchevaya khimiya: uchebnik* [Food Chemistry: Textbook]. In: A.P. Nechaev, editor. Saint Petersburg: GIORD; 2012: 672. ISBN: 978-5-98879-143-0. (In Russ).

19. Alekseeva E.I., Leshchuk T.L. *Belkovaya tsennost' myasa krupnogo rogatogo skota* [Protein value of beef meat]. Collection of articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference «Safety of raw materials and food products in a modern aspect». Kurgan: Izd-vo Kurganskii GU; 2023: 51-57. EDN: YWKJIO. (In Russ).

20. Nikitina M.A., Zverev S.V. *Otsenka kachestva zhivotnogo belka* [Animal protein quality assessment]. *Vsyo o myase*. 2018; (1): 50-55. DOI: 10.21323/2071-2499-2018-1-50-55. EDN: YWEMAU. (In Russ).

21. GOST R ISO 3534-1-2019 *Natsional'nyi standart Rossiiskoi Federatsii. Statisticheskie metody. Slovar' i uslovnye oboznacheniya. Chast' 1. Obshchie statisticheskie terminy i terminy, ispol'zuemye v teorii veroyatnostei* [National standard of the Russian Federation. Statistical methods. Vocabulary and symbols. Part 1. General statistical terms and terms used in probability theory]. M.: Standartinform; 2020: 66. (In Russ).

22. Alekseeva E.I. et al. *Aminokislotnyi sostav govyadiny, poluchennoi ot skota spetsializirovannykh myasnykh porod* [Amino acid composition of beef obtained from cattle of specialized meat breeds]. *Glavnyi zootekhnik*. 2022; 8(229): 3-10. DOI: 10.33920/sel-03-2208-01. EDN: YMPWPJ. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Алексеева Е.И. – концепция исследования; написание исходного текста; итоговые выводы.

Суханова С.Ф. – научное руководство; концепция исследования; итоговые выводы.

Морозов В.Ю. – редакция статьи, формулирование выводов, внедрение результатов.

AUTHOR CONTRIBUTION

Alekseeva, E.I. – the concept of the study; writing the original text; final conclusions.

Sukhanova, S.F. – scientific guidance; research concept; final conclusions.

Morozov V.Yu. – editing of the article, formulation of conclusions, implementation of results.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Эксперименты с животными проводились в соответствии с Руководством Национального института здравоохранения по уходу и использованию лабораторных животных (<http://oacu.od.nih.gov/regs/index.htm>). Все эксперименты с животными проводились в соответствии с принципами, выраженными в Хельсинской декларации (Declaration of Helsinki).

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

The animal experiments were conducted in accordance with the Guidelines of the National Institute of Health on the Care and Use of Laboratory Animals (<http://oacu.od.nih.gov/regs/index.htm>). All the animal experiments were conducted in accordance with the principles expressed in the Declaration of Helsinki.

Информация об авторах

Е.И. Алексеева – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; AuthorID 257461.

С.Ф. Суханова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; AuthorID 149859.

В.Ю. Морозов – доктор ветеринарных наук, профессор; AuthorID 387972.

Information about the author

E.I. Alekseeva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; AuthorID 257461.

S.F. Sukhanova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; AuthorID 149859.

V.Yu. Morozov – Doctor of Veterinary Sciences, Professor; AuthorID 387972.--

Статья поступила в редакцию 12.11.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 12.11.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 17.12.2024.

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 24–30
Vestnik Kurganskoy GSNA. 2024; (4-52): 24–30

Научная статья
УДК 636.2.033
Код ВАК 4.2.4

EDN: FHSRCB

МЯСНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПОРОДЫ ОБРАК И ЕЁ ПОМЕСЕЙ С ПОРОДАМИ ШАРОЛЕ И САЛЕРС

Айгуль Маюровна Бекшенова¹, Алексей Александрович Бахарев²✉

^{1, 2} Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

¹ bekshenova.am@edu.gausz.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5477-2913>

² salers@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-0604-4157>

Аннотация. Цель исследования – оценить показатели мясной продуктивности чистопородного скота породы обрак и её помесей с породами шароле и салерс. Исследования выполнены в период 2021–2023 годов в условиях крестьянско-фермерского хозяйства ИП Фоминцева К. А. Омутинского района Тюменской области. Объект исследований – бычки породы обрак и помеси первого поколения обрак х шароле и обрак х салерс. Группы животных формировались методом сбалансированных групп по 15 бычков в каждой. Проведен контрольный убой, определены: предубойная масса, масса туш, абсолютная и относительная масса мякотной части, костей и сухожилий. Установлено, что наибольшей живой массой в 18-месячном возрасте характеризовались помесные бычки, их живая масса составила 571,1 кг, а среднесуточный прирост 996,2 г, что больше, чем у чистопородного скота обрак, на 23,5 кг, или 4,1 % ($P>0,95$), а над помесными бычками с породой обрак и салерс – на 10,8 кг, или 1,9 %. Все помесные бычки имели лучшие количественные и качественные показатели мясной продуктивности. Масса парной туши помесей в 18-месячном возрасте была достоверно больше, чем у чистопородных животных, у помесей обрак х шароле на 25,3 кг, или 7,6 % ($P>0,95$), у помесей обрак х салерс – на 16,2 кг, или 5,0 % ($P>0,95$). Превосходство по убойной массе помесного скота над чистокровными обраками составила 27,4 кг, или 8,1 % ($P>0,95$), у помесей обрак х шароле, 20,0 кг, или 3,1 % ($P>0,95$), у помесей обрак х салерс. Туши помесных бычков отличались лучшим морфологическим составом. Помеси бычки (помеси обрак х шароле и обрак х салерс) превосходили чистокровный скот по количеству мышечной ткани на 20,2 кг, или 8,1 % ($P>0,95$), и 13 кг, или 5,3 %, соответственно.

Ключевые слова: породы, мясной скот, помеси, обрак, шароле, салерс, живая масса, предубойная масса, убойный выход.

Благодарности: работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья». Дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Для цитирования: Бекшенова А.М., Бахарев А.А. Мясная продуктивность крупного рогатого скота породы обрак и её помесей с породами шароле и салерс // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 24–30. EDN: FHSRCB.

Scientific article

MEAT PRODUCTIVITY OF THE AUBRAC BREED CATTLE AND ITS CROSSBREDS WITH THE CHAROLAIS AND SALERS BREEDS

Aigul M. Bekshenova¹, Aleksey A. Bakharev²✉

^{1, 2} State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

¹ bekshenova.am@edu.gausz.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5477-2913>

² salers@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-0604-4157>

Abstract. The purpose of the study is to evaluate the indicators of meat productivity of purebred cattle of the Aubrac breed and its crossbreeds with the Charolais and Salers breeds. The research was carried out in the period 2021–2023 in the conditions of the farming enterprise of IP Fomintseva K.A., Omutinskii district of the Tyumen region. The object of the research is bull calves of the Aubrac breed and crossbreeds of the 1st generation of Aubrac x Charolais and Aubrac x Salers. The groups of animals were formed by the method of balanced groups of 15 bulls each. Control slaughtering was carried out, determining the following: pre-slaughter weight, carcass weight, absolute and relative weight of the pulp, bones and tendons. It was found that the largest live weight at the age of 18 months was characteristic of crossbred bulls, their live weight was 571.1 kg, and the average daily increase was 996.2 g, which is more than that of the purebred Aubrac cattle by 23.5 kg, or 4.1 % ($P>0.95$), and over crossbred bulls with the Aubrac and Salers breed – by 10.8 kg, or 1.9 %. All the crossbred bulls had the best quantitative and qualitative indicators of meat productivity. The mass of the fresh meat carcass of the crossbreeds at 18 months of age was significantly higher than that of the purebred animals, in the Aubrac x Charolais crossbreeds by 25.3 kg, or 7.6 % ($P>0.95$), in the Aubrac x Salers crossbreeds by 16.2 kg, or 5.0 % ($P>0.95$). The superiority in slaughter weight of the mixed cattle over the purebred Aubracs was 27.4 kg, or 8.1 % ($P>0.95$), in Aubrac x Charolais crossbreeds 20.0 kg, or 3.1 % ($P>0.95$), in Aubrac x Salers crossbreeds. The carcasses of the crossbred bulls were distinguished by the best morphological composition. The crossbred bulls (Aubrac x Charolais and Aubrac x Salers crossbreeds) outperformed the purebred cattle in terms of the amount of muscle tissue by 20.2 kg, or 8.1 % ($P>0.95$) and 13 kg, or 5.3 %, respectively.

Keywords: breeds, beef cattle, crossbreeds, Aubrac, Charolais, Salers, live weight, pre-slaughter weight, slaughter yield.

Acknowledgments: the work was funded from the budget of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'State Agrarian University of the Northern Trans-Urals'. No additional grants have been received to conduct or direct this particular study.

For citation: Bekshenova A.M., Bakharev A.A. Meat productivity of the aubrac breed cattle and its crossbreeds with the charolais and salers breeds. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2024; (4-52): 24–30. EDN: FHSRCB. (In Russ).

Введение. Одной из основных задач агро-промышленного комплекса является увеличение производства продукции животноводства, а в частности говядины [1; 2]. В последние годы в нашей стране происходит интенсивное развитие мясного скотоводства, которое основывается на увеличении поголовья специализированных мясных пород скота [3–5]. Специализированные мясные породы крупного рогатого скота позволяют получать большее количество говядины высокого качества, так как мясо этих пород отличается биологической полноценностью и высокими вкусовыми и кулинарными качествами [6–8].

Мясное скотоводство является ресурсосберегающей отраслью животноводства [9; 10]. С 2000 года в нашей стране разводится мясной французский скот, который показал отличные акклиматизационные способности в условиях Северного Зауралья [11–13]. К числу данных пород относятся обрак, шароле и салерс [14; 15]. Порода обрак на протяжении многих лет активно используется в межпородном промышленном скрещивании и занимает значительную численность на территории Тюменской области [16; 17].

Порода обрак использовалась в основном при скрещивании с комбинированными и молочными породами. Комплексное изучение данной породы при использовании в промышленном скрещивании с другими мясными породами не проводилось.

В связи с этим целью данной работы является оценка показателей мясной продуктивности чистопородного скота породы обрак и ее помесей с породами шароле и салерс.

Задачи исследований: оценить особенности весового роста бычков в зависимости от генотипа; изучить убойные показатели чистопородных и помесных бычков; проанализировать морфологический состав туш бычков разного происхождения.

Материалы и методы. Исследовательская работа выполнена в период 2021–2023 годов в условиях крестьянско-фермерского хозяйства ИП Фоминцева К. А. Омутинского района Тюменской области.

Объектом исследований послужили бычки крупного рогатого скота породы обрак (I группа) и помеси первого поколения, полученные при промышленном скрещивании породы обрак с породами шароле (II группа) и салерс (III группа), в возрасте с рождения до 18 месяцев (рисунок 1).

Группы животных были сформированы методом сбалансированных групп по 15 бычков в каждой. При формировании групп учтены происхождение, возраст матери в лактациях и месяц рождения молодняка. Условия кормления и содержания бычков всех групп были идентичными.

Живую массу бычков определяли индивидуально при рождении и в возрасте животных 7, 12, 15 и 18 месяцев, до утреннего кормления. На основании полученных данных рассчитывали среднесуточный прирост [18; 19]. Для изучения мясной продуктивности в конце эксперимента (в возрасте 18 месяцев) был проведен контрольный убой. Для убоя было отобрано по три головы из каждой группы, имеющих живую массу, соответствующую средней по группе. При проведении контрольного убоя определяли следующие показатели: предубойная масса и масса туш. Затем после убоя произвели обвалку и жиловку туш. В результате были определены абсолютная и относительная масса мякотной части, костей и сухожилий [18; 19]. Полученный цифровой материал был обработан с помощью операционной системы Windows XP и программного продукта Microsoft Office Excel.

Результаты исследований и их обсуждение. Для оценки роста животного необходимо учи-



Рисунок 1 – Схема проведения исследования

тивать динамику живой массы и среднесуточных приростов, которые носят комплексный характер и в конечном счете определяют количество получаемой продукции.

Анализ динамики весового роста (рисунок 2) показал, что в конце выращивания наибольшей живой массой обладали помесные бычки II группы (571,1 кг), а меньшей массой характеризовались животные I группы (547,6 кг) по сравнению со II группой на 23,5 кг, или 4,1 % ($P>0,95$). Помесные бычки III группы уступали II группе на 10,8 кг, или 1,9 %, и превосходили чистокровных животных на 12,7 кг, или 2,3 %.

Максимальную живую массу при рождении имели телята III группы, что больше, чем в I группе, на 3,2 кг, или 9,1 % ($P>0,999$), а в сравнении со II группой – на 1,9 кг, или 5,4 %. Животные I группы уступали помесным телятам II группы на 1,3 кг, или 3,9 % ($P>0,99$).

В возрасте 7 месяцев бычки породы обрак (I группа) отличались большей живой массой (282,5 кг) по сравнению со II группой на 1,1 кг, или 0,4 %, а с III группой – на 7,4 кг, или 2,6 %. Данные результаты указывают на хорошую молочность матерей бычков I группы и, как следствие, на их лучшее развитие.

В возрасте с 12 до 18 месяцев чистокровные бычки I группы были меньше помесных, а среди помесных животных превосходство было отмечено во II группе.

Среднесуточный прирост живой массы является показателем оценки скорости и интенсивности роста молодняка (таблица 1). В наших исследованиях более высокой скоростью роста в подсосный период (0–7 месяцев) отличались чистокровные животные I группы.

В дальнейшем после отъема интенсивнее развивались помесные животные II и III группы. Так, в период 7–12 месяцев помесные бычки II и III группы превосходили I группу по среднесуточному приросту на 74,6 г, или 9,9 % ($P>0,99$), и на 59,1 г, или 8,1 %, соответственно, а в период 12–15 месяцев наибольшие приросты были у III группы, что больше чем у II группы на 57,8 г, или 5,5 %, а в сравнении с I группой – на 85,2 г, или 8,1 %. В период с 15 до 18 месяцев наибольшими приростами отличалась II группа, что в сравнении с III группой больше на 83 г, или 8,5 %, а с I группой – на 122,2 г, или 12,5 % ($P>0,95$).

Была проведена оценка убойных показателей бычков в зависимости от генотипа. Установлено, что подопытные животные имели достаточно высокий уровень мясной продуктивности, но преимущество оставалось за помесным скотом (таблица 2).

По предубойной массе чистокровные животные породы обрак I группы уступали II группе на 22 кг, или 4,0 %, а III группе – на 18 кг, или 3,3 %. Между группами с помесными животными разница была незначительная и состави-

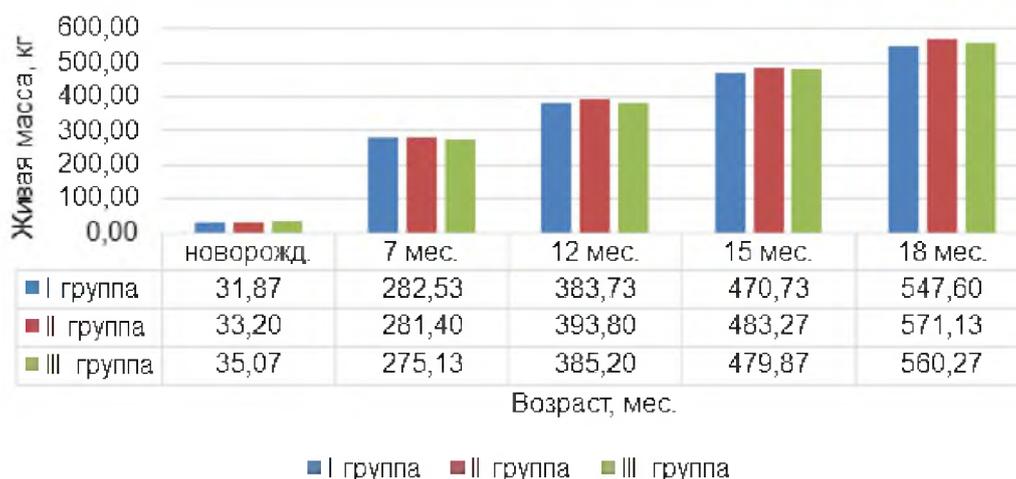


Рисунок 2 – Динамика живой массы подопытных животных, кг

Таблица 1 – Среднесуточный прирост живой массы бычков, г ($X\pm Sx$)

Возрастной период, мес.	Группа		
	I	II	III
0–7	1194,0±11,5	1181,9±18,3	1143,2±14,4 *
7–12	674,7±22,7	749,3±12,8 **	733,8±18,4
12–15	966,7±76,7	994,1±38,6	1051,9±14,6
15–18	854,1±22,1	976,3±24,2 *	893,3±17,1
0–18	955,1±14,2	996,2±10,9 *	972,6±8,8

Примечание: ** – $P\geq 0,99$, * – $P\geq 0,95$

ла 4 кг, или 0,7 %, в пользу животных II группы. В 18-месячном возрасте масса парной туши помесей была достоверно больше, чем у чистопородных животных на 25,3 кг, или 7,6 %, и на 16,2 кг, или 5,0 %, соответственно. Также достоверная разница отмечена и по убойной массе: бычки I группы уступали помесям II группы на 27,4 кг, или 8,1 %, а III группы – на 20,0 кг, или 3,1 %. Разница между II и III группой по данному показателю составила 7,4 кг, или 2,2 %, в пользу помесных бычков II группы.

По выходу туши группы с помесными животными превосходили чистокровных бычков на 2,3 % и 1,2 % соответственно. Разница между II и III группой составила 1,1 % и была больше во II группе. По убойному выходу чистокровные животные уступали помесям ½ обрак х ½ шароле на 1,7 %, а помесям ½ обрак х ½ салерс – на 1,2 %. Также у чистокровных бычков I группы наблюдалась тенденция к снижению выхода жира на 0,1% в сравнении с помесными животными. В целом можно сделать вывод, что результаты контрольного убоя свидетельствуют о влиянии генотипа животных на показатели, характеризующие мясную продуктивность. Лучшие показатели результатов убоя отмечены у бычков ½ обрак х ½ шароле (II группа).

После убоя животных были произведены обвалка и жиловка туш подопытных групп для определения морфологического состава. Анализ морфологического состава (таблица 3) свидетельствует о том, что более тяжеловесные охлажденные туши получены от помесного скота II и III группы. По массе охлажденной туши достоверное превосходство было у животных II группой, то есть от помесей обрак и шаролезской породы. Так, превосходство II группы над I группой составило 21 кг, или 6,5 %, над III группой – 7,7 кг, или 2,4 %, при этом разница между I и III группами составила 13,3 кг, или 4,2 %.

Отложение жировой ткани в организме чистопородных бычков (I группа) к 18 месяцам было более интенсивным по сравнению со сверстниками из других групп. Так, выход внутреннего жира-сырца у I группы был на 1,6 % больше, чем у II группы, и на 0,6 % в сравнении с III группой. Вероятно, это связано с большей долгорослостью помесного молодняка, то есть помесные бычки склонны дольше наращивать мышечную массу.

Помесные бычки пород обрак и салерс (III группа) отличились большим количеством костной ткани. Масса костной ткани у III группы составила 53,3 кг, что достоверно больше, чем у II группы на 0,7 кг, или 1,3 %, а у I группы – на 3,9 кг, или 7,3 %. Выход костной ткани был

Таблица 2 – Результаты контрольного убоя бычков разных генотипов ($X \pm S_x$) (n=3)

Показатель	Группа		
	I	II	III
Предубойная живая масса, кг	530,7±9,0	552,7±7,2	548,7±6,4
Масса парной туши, кг	305,8±6,0	331,1±4,6*	322,0±0,4*
Масса внутреннего жира-сырца, кг	4,3±0,2	4,7±0,1	4,8±0,2
Убойная масса, кг	310,1±6,1	337,5±4,2*	330,1±3,1*
Выход туши, %	57,6	59,9	58,7
Выход жира, %	0,8	0,9	0,9
Убойный выход, %	58,4	61,1	60,2

Примечание: * – $P \geq 0,95$

Таблица 3 – Морфологический состав туш подопытных животных ($X \pm S_x$) (n=3)

Показатель	Группа		
	I	II	III
Масса охлажденной туши, кг	303,0±6,0	324,0±2,1*	316,3±2,0
Мышечная ткань, кг	230,6±5,7	250,8±1,9*	243,6±1,1
Мышечная ткань, %	76,6	77,4	77,0
Костная ткань, кг	49,4±0,4	52,6±1,1*	53,3±0,8**
Костная ткань, %	16,3	16,2	16,8
Соединительная ткань, кг	11,4±0,4	11,1±0,4	11,0±0,2
Соединительная ткань, %	3,8	3,4	3,5
Жировая ткань, кг	10,1±0,5	9,5±0,6	8,5±0,7
Жировая ткань, %	3,3	2,9	2,7
Коэффициент мясности	5,1±0,1	5,2±0,1	4,9±0,1

Примечание: ** – $P \geq 0,99$, * – $P \geq 0,95$

наименьший у помесных бычков пород обрак и шароле в сравнении с I группой на 0,1 %, а с III группой – на 0,5 %. Наибольший выход костной ткани установлен у животных III группы – 16,8 %.

Наибольший выход соединительной ткани был у чистопородных животных. Так, у животных I группы он составил 3,8 %, что больше, чем у II и III групп, на 0,4 % и 0,3 % соответственно.

По выходу мышечной ткани молодняк I группы незначительно уступал помесным животным, и разница между группами составила 0,8 % и 0,4 % соответственно. Во II группе выход мышечной ткани был на 0,4 % больше, чем в III группе.

По количеству мышечной ткани различия между I и помесными группами составили 20,2 кг, или 8,1 % и 13 кг, или 5,3 % соответственно, в пользу помесных животных. Между II и III группой по количеству мышечной ткани разница составила 7,2 кг, или 2,9 % в пользу II группы (помесей пород обрак и шароле).

Установлены незначительные различия по индексу мясности. Индекс мясности у животных II группы был наибольшим и в сравнении с I группой разница составила 0,1, а с III группой – 0,3. Разница между I и III группой составила 0,2. Помеси III группы характеризовались меньшим показателем по данному индексу, так как обладают более высоким выходом костной ткани.

Заключение. Проведенными исследованиями установлено, что промышленное скрещивание коров породы обрак с быками пород шароле и салерс способствует увеличению продуктивных качеств помесного молодняка. Помесные бычки имели достоверные преимущества над чистокровными бычками по показателям роста и мясной продуктивности. Помесные бычки (обрак х шароле; обрак х салерс) имели большую массу парной туши, внутреннего жира-сырца, убойную массу, массу мышечной ткани, чем чистопородные бычки (обрак х обрак).

Список источников

1. Основные параметры эффективного сочетания бычков разных генотипов для моделирования селекционного процесса в мясном скотоводстве / И.Ф. Горлов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 43-46. DOI: 10.28983/asj.y2022i8pp43-46. EDN: LEUZAN.
2. Влияние промышленного скрещивания молочных пород скота на мясную продуктивность помесей / И.Ф. Горлов [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. 2023. № 6. С. 42-45. DOI: 10.33943/MMS.2023.71.84.009. EDN: MNBVZH.
3. Влияние разных технологий содержания на качественные показатели мяса чистопородных и помесных бычков / А.И. Отаров [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 52-62. DOI: 10.33284/2658-3135-106-2-52. EDN: LWFJWN.
4. Винс М.С., Третьякова Р.Ф., Каюмов Ф.Г. Эффективность разведения калмыцкого скота в Кабардино-Балкарии: анализ и перспективы // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 96-106. DOI: 10.33284/2658-3135-107-2-96. EDN: ESSADD.
5. Петрова Г.В. Увеличение производства говядины методом межпородного скрещивания в условиях Новгородской области // Аграрный научный журнал. 2024. № 5. С. 112-117. DOI: 10.28983/asj.y2024i5pp112-117. EDN: SNTSKT.
6. Abirova I.M., Baktygalieva A.T., Nasyrov S.N., Duskulov V.M. Chemical composition of meat and raw fats of young best of the Kazakh white head breed // Science and Education. 2023. No. 1-1(70). P. 115-121. DOI: 10.52578/2305-9397-2023-1-1-115-121. EDN: QBJNHQ.
7. Суханова С.Ф., Алексеева Е.И. Продуктивные качества мясного скота в условиях Зауралья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 10(156). С. 161-167. EDN: ZIFVCN.
8. Шевхужев А.Ф., Погодаев В.А. Мясная продуктивность бычков симментальской породы и помесей с кровностью (½ симментальская + ½ абердин-ангусская), (½ симментальская + ½ калмыцкая) // Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 92-99. DOI: 10.28983/asj.y2023i4pp92-99. EDN: NGFNQD.
9. Мясная продуктивность и качество мяса скота симментальской породы разных генотипов / Н.И. Хайруллина [и др.] // Зоотехния. 2023. № 4. С. 23-27. DOI: 10.25708/ZT.2023.20.28.007. EDN: IWZULS.
10. Хозяйственно-полезные признаки красного степного скота разных генотипов / Т.Т. Тарчоков [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 4 (48). С. 43-49. EDN: BXIOSX.
11. Чистопородное разведение и эффективность скрещивания специализированных мясных пород скота – абердин-ангусской и ваю / Г.И. Шичкин [и др.] // Зоотехния. 2023. № 6. С. 13-16. DOI: 10.25708/ZT.2023.53.38.003. EDN: ZFUXHO.
12. Шевелева О.М., Часовщикова М.А., Суханова С.Ф. Продуктивные и некоторые биологические особенности генофондной породы скота салерс в условиях Западной Сибири // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 1. С. 156-173. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-1-156-173. EDN: GERQEL.
13. Эффективность скрещивания шаролезских и лимузинских бычков с коровами красной степной и швицкой пород / Д.Р. Смакуев [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. 2024. № 3. С. 47-51. DOI: 10.33943/MMS.2024.45.94.010. EDN: ZFJKOP.

14. Шевелева О.М., Бахарев А.А. Эффективность производства говядины при чистопородном разведении французских мясных пород скота // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 1. С. 119-127. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-119-127. EDN: FGKKUY.

15. Sheveleva O.M., Bakharev A.A. Meat productivity of French-bred bulls due to adaptive technology in Western Siberia // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14. No. 4. P. 370-383. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-4-370-383. EDN: BNQCIU.

16. Шагалиев Ф.М. Мясная продуктивность и качественные показатели мяса бычков разных генотипов // Зоотехния. 2022. № 2. С. 34-38. DOI: 10.25708/ZT.2022.94.37.009. EDN: QBUPEW.

17. Стенькин Н.И. Мясная продуктивность помесей при скрещивании бестужевской породы с шаролеизской // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4 (52). С. 240-245. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-240-245. EDN: SAVLQN.

18. Оценка мясной продуктивности и определение качества мяса убойного скота: методические рекомендации. Оренбург: ВНИИМС, 1984. 54 с.

19. Оценка мясной продуктивности крупного рогатого скота: рекомендации / 2 изд., доп. и дораб. Новосибирск: СибНИПТИЖ, СибНИИМС, 2001. 156 с.

References

1. Gorlov I.F. et al. Osnovnye parametry effektivnogo sochetaniya bychkov raznykh genotipov dlya modelirovaniya selektsionnogo protsessa v myasnom skotovodstve [Key parameters of effective combination of bulls of different genotypes for modeling the selection process in beef cattle breeding]. The Agrarian Scientific Journal. 2022; (8): 43-46. DOI: 10.28983/asj.y2022i8pp43-46. EDN: LEUZAN. (In Russ).

2. Gorlov I.F. et al. Vliyaniye promyshlennogo skreshchivaniya molochnykh porod skota na myasnuyu produktivnost' pomesei [The influence of industrial crossing of dairy cattle breeds on the meat productivity of hybrids]. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2023; (6): 42-45. DOI: 10.33943/MMS.2023.71.84.009. EDN: MHBBZH. (In Russ).

3. Otarov A.I. et al. Vliyaniye raznykh tekhnologii sodержaniya na kachestvennye pokazateli myasa chistoporodnykh i pomesykh bychkov [The influence of different housing technologies on the quality indicators of meat of purebred and crossbred bulls]. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023; 106(2): 52-62. DOI: 10.33284/2658-3135-106-2-52. EDN: LWFJWN. (In Russ).

4. Vince M.S., Tretyakova R.F., Kayumov F.G. Effektivnost' razvedeniya kalmytskogo skota v Kabardino-Balkarii: analiz i perspektivy [Efficiency of Kalmyk cattle breeding in Kabardino-Balkaria: analysis and prospects]. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024; 107(2): 96-106. DOI: 10.33284/2658-3135-107-2-96. EDN: ESSADD. (In Russ).

5. Petrova G.V. Uvelicheniye proizvodstva govyadiny metodom mezhpородnogo skreshchivaniya v usloviyakh Novgorodskoi oblasti [Increasing beef production by interbreeding in the Novgorod region]. The Agrarian Scientific Journal. 2024; (5): 112-117. DOI: 10.28983/asj.y2024i5pp112-117. EDN: SNTSKT. (In Russ).

6. Abirova I.M., Baktygalieva A.T., Nasyrov S.N., Duskulov V.M. Chemical composition of meat and raw fats of young best of the Kazakh white head breed. Science and Education. 2023; 1-1(70): 115-121. DOI: 10.52578/2305-9397-2023-1-1-115-121. EDN: QBJNHQ.

7. Sukhanova S.F., Alekseeva E.I. Produktivnye kachestva myasnogo skota v usloviyakh Zaural'ya [Productive qualities of beef cattle in the conditions of the Trans-Urals]. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017; 10(156): 161-167. EDN: ZIFVCN. (In Russ).

8. Shevkhezhev A.F., Pogodaev V.A. Myasnaya produktivnost' bychkov simmental'skoi porody i pomesei s krovnost'yu ($\frac{1}{2}$ simmental'skaya + $\frac{1}{2}$ aberdin-angusskaya), ($\frac{1}{2}$ simmental'skaya + $\frac{1}{2}$ kalmytskaya) [Beef productivity of Simmental bulls and crossbreeds with bloodlines ($\frac{1}{2}$ Simmental + $\frac{1}{2}$ Aberdeen Angus), ($\frac{1}{2}$ Simmental + $\frac{1}{2}$ Kalmyk)]. The Agrarian Scientific Journal. 2023; (4): 92-99. DOI: 10.28983/asj.y2023i4pp92-99. EDN: NGFNQD. (In Russ).

9. Khairullina N.I. et al. Myasnaya produktivnost' i kachestvo myasa skota simmental'skoi porody raznykh genotipov [Meat productivity and meat quality of Simmental cattle of different genotypes]. Zootechniya. 2023; (4): 23-27. DOI: 10.25708/ZT.2023.20.28.007. EDN: IWZULS. (In Russ).

10. Tarchokov T.T. et al. Khozyaistvenno-poleznye priznaki krasnogo stepnogo skota raznykh genotipov [Economically useful traits of red steppe cattle of different genotypes]. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2023; 4(48): 43-49. EDN: BXIOSX. (In Russ).

11. Shichkin G.I. et al. Chistoporodnoye razvedeniye i effektivnost' skreshchivaniya spetsializirovannykh myasnykh porod skota - aberdin-anguskoi i vagyu [Purebred breeding and the effectiveness of crossing specialized beef cattle breeds - Aberdeen Angus and Wagyu]. Zootechniya. 2023; (6): 13-16. DOI: 10.25708/ZT.2023.53.38.003. EDN: ZFUXOX. (In Russ).

12. Sheveleva O.M., Chasovshchikova M.A., Sukhanova S.F. Produktivnye i nekotorye biologicheskie

osobnosti genofondnoi porody skota salers v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Productive and some biological features of the gene pool breed of Salers cattle in the conditions of Western Siberia]. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021; 13(1): 156-173. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-1-156-173. EDN: GERQEL. (In Russ).

13. Smakuev D.R. et al. Effektivnost' skreshchivaniya sharolezskikh i limuzinskikh bykov s korovami krasnoi stepnoi i shvitskoi porod [Efficiency of crossing Charolais and Limousin bulls with Red Steppe and Swiss cows]. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2024; (3): 47-51. DOI: 10.33943/MMS.2024.45.94.010. EDN: ZFJKOP. (In Russ).

14. Sheveleva O.M., Bakharev A.A. Effektivnost' proizvodstva govyadiny pri chistopородном razvedenii frantsuzskikh myasnykh porod skota [Efficiency of beef production in purebred breeding of French beef cattle breeds]. Agricultural Bulletin of the Ural. 2024; 24(1): 119-127. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-119-127. EDN: FGKKUY. (In Russ).

15. Sheveleva O.M., Bakharev A.A. Meat productivity of French-bred bulls due to adaptive technology in Western Siberia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022; 14(4): 370-383. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-4-370-383. EDN: BNQCIU. (In Russ).

16. Shagaliev F.M. Myasnaya produktivnost' i kachestvennye pokazateli myasa bychkov raznykh genotipov [Meat productivity and quality indicators of meat of bulls of different genotypes]. Zootechniya. 2022; (2): 34-38. DOI: 10.25708/ZT.2022.94.37.009. EDN: QBUPEW. (In Russ).

17. Stenkin N.I. Myasnaya produktivnost' pomesei pri skreshchivanii bestuzhevskoi porody s sharolezskoi [Meat productivity of hybrids when crossing the Bestuzhev breed with the Charolais breed]. Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2020; 4(52): 240-245. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-240-245. EDN: SAVLQN. (In Russ).

18. Otsenka myasnoi produktivnosti i opredelenie kachestva myasa uboinogo skota [Evaluation of meat productivity and determination of meat quality of slaughter cattle]: methodical recommendations. Orenburg: VNIIMS; 1984: 54. (In Russ).

19. Otsenka myasnoi produktivnosti krupnogo rogatogo skota [Evaluation of beef productivity of cattle]: recommendations. Novosibirsk: SibNIPTIZH, SibNIIMS; 2001: 156. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Бекшенова А.М. – концепция исследования; сбор материала; обработка материала; написание статьи; итоговые выводы.

Бахарев А.А. – концепция исследования; доработка текста.

AUTHOR CONTRIBUTION

Bekshenova, A.M. – research concept; collection of material; material processing; writing an article; final conclusions.

Bakharev, A.A. – the concept of research; revision of the text.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Эксперименты с животными проводились в соответствии с Руководством Национального института здравоохранения по уходу и использованию лабораторных животных (<http://oacu.od.nih.gov/regs/index.htm>). Все эксперименты с животными проводились в соответствии с принципами, выраженными в Хельсинской декларации (Declaration of Helsinki).

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

The animal experiments were conducted in accordance with the Guidelines of the National Institute of Health on the Care and Use of Laboratory Animals (<http://oacu.od.nih.gov/regs/index.htm>). All the animal experiments were conducted in accordance with the principles expressed in the Declaration of Helsinki.

Информация об авторах

А.М. Бекшенова – аспирант; AuthorID 1143889
А.А. Бахарев – доктор сельскохозяйственных наук; AuthorID 270467.

Information about the author

А.М. Бекшенова – graduate student; AuthorID 1143889
А.А. Бакхарев – Doctor of Agricultural Sciences; AuthorID 270467.

Статья поступила в редакцию 22.09.2024; одобрена после рецензирования 11.11.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 22.09.2024; approved after reviewing 11.11.2024; accepted for publication 17.12.2024.

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 31–40
Vestnik Kurganskoj GSNA. 2024; (4-52): 31–40

Научная статья

УДК 619:616.98:579

Код ВАК 4.2.4

EDN: HFTECY

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОФЛОРЫ, ВЫДЕЛЯЕМОЙ ОТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ РАЗНЫХ ВИДОВ, И КОНТРОЛЬ БАКТЕРИАЛЬНЫХ БОЛЕЗНЕЙ В ПТИЦЕХОЗЯЙСТВАХ

Оксана Борисовна Новикова^{1✉}, Алина Олеговна Герасимова²,
Дмитрий Андреевич Красков³

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства – филиал Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства Российской академии наук, Сергиев Посад, Россия

^{1,3} Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия

¹ ksuvet@mail.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0003-0046-625X>

² gerasimova.alina.20@yandex.ru

³ kraskov-00@bk.ru

Аннотация. Биологическая безопасность в современном промышленном птицеводстве – ключевой фактор эффективности производства. Бактериальные болезни наносят большой экономический ущерб отрасли. Это массовый падеж птицы, отставание в росте и развитии молодняка, снижение продуктивности и ухудшение племенных качеств. Существенным звеном в оптимизации экономических показателей птицеводства является создание стабильной эпизоотической ситуации в отношении бактериальных болезней птиц. Целью работы являлись изучение и сравнительный анализ видового состава патогенных и условно-патогенных микроорганизмов на птицефабриках различного технологического направления (куры яичные и мясные, индейка, перепела, гуси и утки). Бактериологические исследования проводили с использованием микробиологических методик на основе простых, селективных, дифференциально-диагностических питательных сред. По итогам исследований наибольшее биоразнообразие патогенной микрофлоры выявлено у яичной птицы, на втором месте – бройлеры, на третьем – водоплавающая птица. Наименьшее биоразнообразие выделенной микрофлоры установлено у индеек и перепелов. Доминирующими видами являются *Escherichia coli* (45,1 %), кокковая микрофлора (27,2 %), *Proteus* (14,2 %). Видовой состав выделяемой микрофлоры специфичен для каждого отдельного хозяйства. Для профилактики бактериальных болезней птиц в промышленном птицеводстве разработана целостная система контроля с выделением основных технологических звеньев. Для отслеживания бактериальных болезней с учётом выделенных возбудителей в системе ветеринарно-санитарных мероприятий целесообразно применять препараты неспецифической и специфической профилактики. При изучении биоразнообразия патогенной микрофлоры, выделяемой от сельскохозяйственной птицы, установлено, что спектр микроорганизмов, циркулирующих на птицефабриках различного технологического направления, достаточно широк (выделено более 30 видов), зависит от вида птицы и технологии ее содержания.

Ключевые слова: птицеводство, сельскохозяйственная птица, микрофлора, колибактериоз, сальмонеллы, профилактика бактериальных болезней, пробиотики.

Благодарности: авторы благодарят Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства – филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН и Научно-консультационный диагностический центр по птицеводству при Санкт-Петербургском государственном университете ветеринарной медицины за предоставленные возможности для проведения исследовательской работы, а также выражают благодарность работникам птицеводств за возможность сбора материала для выполнения научной работы, за оказанную помощь в проведении экспериментальных исследований.

Для цитирования: Новикова О.Б., Герасимова А.О., Красков Д.А. Сравнительный анализ микрофлоры, выделяемой от сельскохозяйственной птицы разных видов, и контроль бактериальных болезней в птицеводствах // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 31–40. EDN: HFTECY.

Scientific article

COMPARATIVE ANALYSIS OF MICROFLORA ISOLATED FROM THE POULTRY OF DIFFERENT SPECIES AND CONTROL OF BACTERIAL DISEASES IN POULTRY FARMS

Oksana B. Novikova^{1✉}, Alina O. Gerasimova², Dmitry A. Krasrov³

¹ Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

© Новикова О.Б., Герасимова А.О., Красков Д.А., 2024

²All-Russian Research Veterinary Institute of Poultry Farming – branch of the All-Russian Research and Technological Poultry Institute of Russian Academy of Sciences, Sergiev Posad, Russia

^{1,3}Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint-Petersburg, Russia

¹ksuvet@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-0046-625X>

²gerasimova.alina.20@yandex.ru

³kraskov-00@bk.ru

Abstract. Biological safety in modern industrial poultry farming is a key factor in production efficiency. Bacterial diseases cause great economic damage to the industry. This is a mass death of poultry, growth and development retardation in young animals, a decrease in productivity and deterioration in breeding qualities. An essential element in optimizing the economic indicators of poultry farming is creation of a stable epizootic situation with regard to bacterial diseases of birds. The purpose of the work was to study and compare the species composition of pathogenic and opportunistic microorganisms in poultry farms of various technological directions (egg and meat chickens, turkey, quails, geese and ducks). The bacteriological studies were carried out using microbiological techniques based on simple, selective, differential diagnostic nutritive media. According to the results of the research, the greatest biodiversity of pathogenic microflora was found in egg-laying poultry, in the second place – broilers, in the third – waterfowl. The lowest biodiversity of the isolated microflora was found in turkeys and quails. The dominant species are *Escherichia coli* (45.1%), coccal microflora (27.2%), *Proteus* (14.2%). The species composition of the isolated microflora is specific to each individual farm. To prevent bacterial diseases of birds in industrial poultry farming, an integrated control system has been developed defining the main technological elements. To track bacterial diseases, taking into account the isolated pathogens in the system of veterinary and sanitary measures, it is advisable to use drugs of non-specific and specific prevention. When studying the biodiversity of pathogenic microflora isolated from poultry, it was found that the spectrum of microorganisms circulating in the poultry farms of various technological directions is quite wide (more than 30 species have been identified), depends on the type of bird and the technology of its maintenance.

Keywords: poultry farming, agricultural poultry, microflora, colibacteriosis, salmonella, prevention of bacterial diseases, probiotics.

Acknowledgments: the authors thank the All-Russian Research Veterinary Institute of Poultry Science – Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution, Federal Scientific Center 'All-Russian Scientific Research and Technological Institute of Poultry Farming' of the Russian Academy of Sciences and the Scientific Consulting and Diagnostic Center for Poultry Farming at the St. Petersburg State University of Veterinary Medicine for the opportunities provided for conducting the research, and also express gratitude to the employees of poultry farms for the opportunity to collect material for scientific work, for assistance in conducting experimental research.

For citation: Novikova O.B., Gerasimova A.O., Krasov D.A. Comparative analysis of microflora isolated from the poultry of different species and control of bacterial diseases in poultry farms. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2024; (4-52): 31–40. EDN: HFTECY. (In Russ).

Введение. Среди всех отраслей животноводства одним из наиболее прибыльных и важных направлений, которое вносит весомый вклад в экономику страны, является птицеводство. Оно занимает ведущее место, поскольку способно обеспечить население наиболее доступными, социально значимыми, высокопитательными, полезными и диетическими продуктами питания – яйцами, мясом и жиром, которые необходимы человеку для поддержания роста и развития. Кроме того, птицеводство даёт сырьё для переработки – пух, перо, органические удобрения (помёт), высокопитательную мясокостную и перьевую муку из отходов, образующихся после убоя птиц [1].

В последние годы промышленное птицеводство значительно изменилось за счёт использования высокопродуктивных кроссов птицы, генетический потенциал которых проявляется лишь при оптимальных технологических, зооветеринарных условиях содержания и кормления. При неполном их соблюдении снижается резистентность и изменяется микробиоценоз организма, создаются предпосылки для активизации условно-патогенной микрофлоры, что может привести к развитию инфекционного процесса в виде острого сепсиса или респираторного синдрома, к повышенному падежу. Поэтому существенным звеном в оптимизации экономических показателей является создание стабильной эпизоотической ситуации в отношении инфекционных и бактериальных болезней [2–4].

Изучение эпизоотологической ситуации в птицеводческих хозяйствах – приоритетная задача. Существует ряд факторов, которые негативно влияют на эпизоотическое благополучие птицеводства [5]. Известно, что доля инфекционных болезней в общей патологии птицы значительно варьируется, причём в структуре неблагополучия и заболеваемости бактериальные инфекции имеют решающее значение. Большая их часть регистрируется в крупных птицеводческих хозяйствах, на птицефабриках и в личных подсобных хозяйствах нашей страны и представляет серьёзную опасность в эпизоотическом и ветеринарно-санитарном отношении [6].

Важнейшим фактором эффективности работы птицеводческих хозяйств, гарантом качества и безопасности производимой продукции является обеспечение эпизоотического благополучия выращиваемой птицы. В связи с этим изучение спектра микроорганизмов, циркулирующих на птицефабриках, является объективной необходимостью [7–8].

Материалы и методы. С целью изучения микрофлоры, выделяемой от сельскохозяйственной птицы разных видов, было проведено бактериологическое исследование материала, полученного с птицефабрик различного технологического направления. Был исследован материал от кур яичного и мясного направления продуктивности, индеек, перепелов, гусей и уток. Кроме крупных птицеводческих хозяйств часть исследований проводили на небольших предприятиях – крестьянско-

фермерских и личных подсобных хозяйствах разных регионов страны. Всего был исследован материал 119 хозяйств, из них 51 бройлерное, 40 яичных, 13 гусиных и утиных, 8 индейководческих, 7 перепелиных.

В работе исследовали патматериал от свежих трупов павших, а также убитых с диагностической целью птиц разного возраста. Для микробиологического исследования отбирали кровь сердца, пробы печени, желчи, лёгких, селезёнки, почек, яичных фолликулов, различных отделов кишечника (тонкого и толстого) и других объектов в зависимости от патологоанатомических изменений в конкретном организме. Также в некоторых хозяйствах исследовали развивающиеся эмбрионы различного срока инкубации, отходы инкубации (замершие, задохлики, тумак), воздух выводных шкафов инкубатория и птичников, пробы мекония и помёта.

Всю работу проводили согласно санитарно-

эпидемиологическим правилам по безопасности работы с микроорганизмами 3-й и 4-й групп патогенности.

В работе для первичных и дальнейших посевов, идентификации использовали следующие питательные среды: мясопептонный бульон, мясопептонный агар, тиогликолевую среду, магниевую среду, Эндо, ксилозо-лизино-дезоксихолатный агар, стафилококковый агар, полимиксиновую среду, колумбийский кровяной агар, среду Вильсона-Блера, среды Олькеницкого, Клиггера, Ресселя, Симмонса и другие. Большинство использованных сред были отечественного производства: Научно-исследовательского центра фармакотерапии (НИЦФ, Санкт-Петербург) и Государственного научного центра прикладной микробиологии и биотехнологии (ФБУН ГНЦ ПМБ, Московская область, г. Оболенск). Для инкубирования посевов использовали термостаты суховоздушные. У выросших

Таблица – Патогенная микрофлора, выделяемая от птиц разных видов в птицеводствах различного технологического направления

Вид или группа микроорганизмов	Вид птицы					Всего
	Куры		Индейки	Перепела	Гуси	
	Яичные	Бройлеры				
Количество выделенных культур (процент)						
<i>Escherichia coli</i>	543 (49,1 %)	771 (45,4 %)	209 (45,7 %)	94 (41,4 %)	194 (36,7 %)	1811(45,1 %)
<i>Staphylococcus spp.</i>	209 (18,9 %)	332 (19,5 %)	100 (21,9 %)	62 (27,3 %)	173 (32,7 %)	876 (21,8 %)
<i>Enterococcus spp.</i>	64 (5,8 %)	93 (5,5 %)	6 (1,3 %)	12 (5,3 %)	43 (8,1 %)	218 (5,4 %)
<i>Proteus spp.</i>	93 (8,4 %)	315 (18,5 %)	105 (23 %)	16 (7,1 %)	43 (8,1 %)	572 (14,2 %)
<i>Salmonella spp.</i>	90 (8,1 %)	36 (2,1 %)	3 (0,7 %)	3 (2,2 %)	19 (3,6 %)	153 (3,8 %)
<i>Enterobacter spp.</i>	15 (1,4 %)	42 (2,5 %)	1 (0,2 %)	28 (12,3 %)	13 (2,5 %)	99 (2,5 %)
<i>Clostridium spp.</i>	54 (4,9 %)	51 (3,0 %)	25 (5,5 %)	10 (4,4 %)	29 (5,5 %)	169 (4,2 %)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	17 (1,5 %)	40 (2,4 %)	7 (1,5 %)	-	8 (1,5 %)	72 (1,8 %)
Респираторная микрофлора	<i>Pasteurella multocida</i>	-	-	-	1 (0,2 %)	19 (0,5 %)
	<i>Ornithobacterium rhinotracheale</i>	4 (0,3 %)	3 (0,2 %)	-	-	
	<i>Gallibacterium anatis</i>	10 (0,9 %)	-	-	-	
	<i>Corynebacterium spp.</i>	-	-	1 (0,2 %)	-	
Micrococcus spp.	1 (0,1 %)	7 (0,4 %)	-	-	-	8 (0,2 %)
Bacillus spp.	4 (0,3 %)	-	-	-	-	4 (0,1 %)
Грибковая	<i>Aspergillus fumigatus</i>	2 (0,2 %)	9 (0,5 %)	-	5 (0,9 %)	18 (0,4 %)
	<i>Candida spp.</i>	1 (0,1 %)	-	-	1 (0,2 %)	
Всего	1107 (100 %)	1699 (100 %)	457 (100 %)	227 (100 %)	529 (100 %)	4019 (100 %)

микроорганизмов разных видов изучали морфологические, культуральные, тинкториальные, биохимические, серологические, вирулентные свойства, определяли чувствительность к антибактериальным препаратам разных групп.

Видовую и серовариантную принадлежность культур сальмонелл подтверждали и устанавливали в реакции агглютинации с диагностическими сальмонеллезными сыворотками.

Кроме обычных стеклянных и пластиковых чашек Петри в работе использовали чашки Петри с замком, на которую получен патент на полезную модель «Чашка Петри» [9].

Результаты исследований и их обсуждение. Данные спектра патогенной и условно-патогенной микрофлоры, выделенной от всех видов сельскохозяйственной птицы (куры яйценоских и мясных кроссов, индейка, перепела, гуси и утки), представлены в таблице. Некоторые родственные виды микроорганизмов были объединены в группы (стафилококки, энтерококки и стрептококки, протей, энтеробактерии (кроме сальмонелл и протеев), сальмонеллы, клостридии, респираторная, грибковая микрофлора, бациллы, микрококки). Всего из 3497 высевов от 1158 трупов было выделено 4019 культур более 30 разных видов микроорганизмов.

При сравнительном анализе микрофлоры установлено, что у всех видов сельскохозяйственной птицы доминирующим являлась кишечная палочка *Escherichia coli* (*E.coli*). Процент выделения *E.coli* у каждого вида птиц составил более трети: наибольший у яичной – 49,1 %, наименьший – у водоплавающей – 36,7 %.

Колибактериоз – локальная или системная инфекция, вызываемая микроорганизмом *E.coli*. Развивается у птенцов с ослабленной или поврежденной иммунной системой, приводит к значительным экономическим потерям. У птиц колибактериоз – типичная вторичная, или системная болезнь, развивающаяся, когда иммунные механизмы хозяина повреждены. Наиболее восприимчивы к заражению *E.coli* цыплята первых дней жизни, у которых заболевание может протекать в форме острого сепсиса. Восприимчивы также птицы старшего возраста, у которых болезнь протекает с патологоанатомическими признаками серозно-фибринозного или фибринозного перикардита, перигепатита, аэросаккулита, геморрагического дуоденита и панкреатита (рисунок 1).

Доминирующая роль *E.coli* в инфекционной патологии птиц значительно ухудшает эпизоотическую ситуацию, а также кишечная палочка является фундаментом для развития смешанных, ассоциированных инфекций, что весьма услож-

няет диагностику заболевания, а следовательно, и проведение своевременных оздоровительных и профилактических мероприятий. Во многих случаях колибактериоз является вторичным, развивается на фоне какой-либо вирусной инфекции, поэтому правильно поставленный основной диагноз и эффективная специфическая профилактика вирусных болезней – действенный способ борьбы с колибактериозом [10; 11].

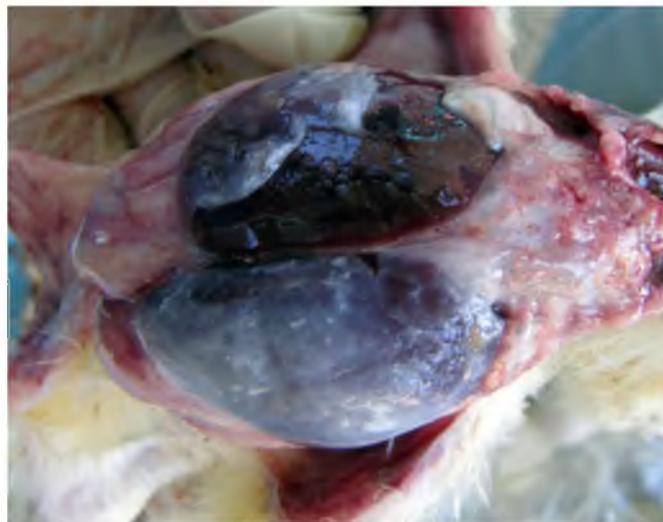
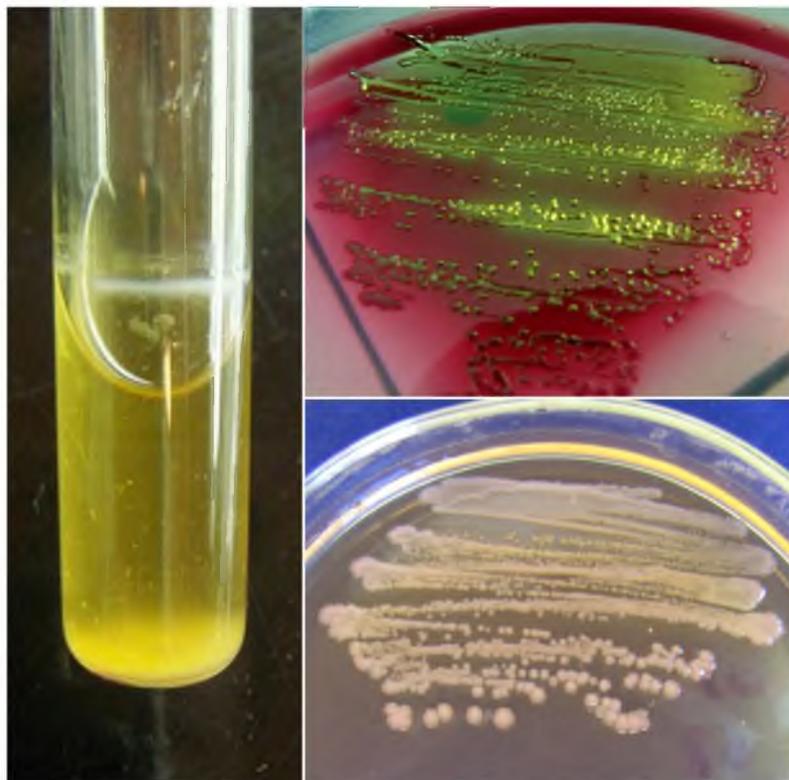


Рисунок 1 – Фибринозный перикардит и перигепатит цыпленка при колибактериозе

На нескольких птицефабриках были выделены редко встречающиеся лактозоотрицательные штаммы кишечной палочки (рисунок 2). Данные штаммы при росте на среде Эндо образуют темно-красные колонии с характерным выраженным металлическим блеском, так как ферментирующие лактозу бактерии изменяют pH среды в кислую сторону вследствие образования конечного продукта расщепления ацетилальдегида, который реагируя с сульфитом натрия способствует появлению красного цвета. Лактозоотрицательные штаммы кишечной палочки не разлагают лактозу, поэтому образуют бледно-розовые колонии. При изучении вирулентных свойств на модели внутримышечного заражения цыплят лактозоотрицательная кишечная палочка вызывала типичную для колибактериоза клиническую и патологоанатомическую картину: угнетение, отказ от корма и воды, на вскрытии некроз мышц на месте введения заражающего штамма, фибринозный перикардит и перигепатит, энтерит.

В птицеводческих хозяйствах Российской Федерации данные бактериозы регистрируются ежегодно, за 5 лет количество заболевшей колибактериозом птицы варьировалось от 66,18 % в 2018 г. до 0,15 % в 2021 г. от общего количества заболевшей птицы [6].



Слева – рост культуры *Escherichia coli* на мясопептонном бульоне (МПБ) с выраженным пристеночным кольцом; справа сверху – рост лактозоположительной культуры *Escherichia coli* на среде Эндо с выраженным металлическим блеском; справа снизу – рост лактозоотрицательной культуры *Escherichia coli* на среде Эндо

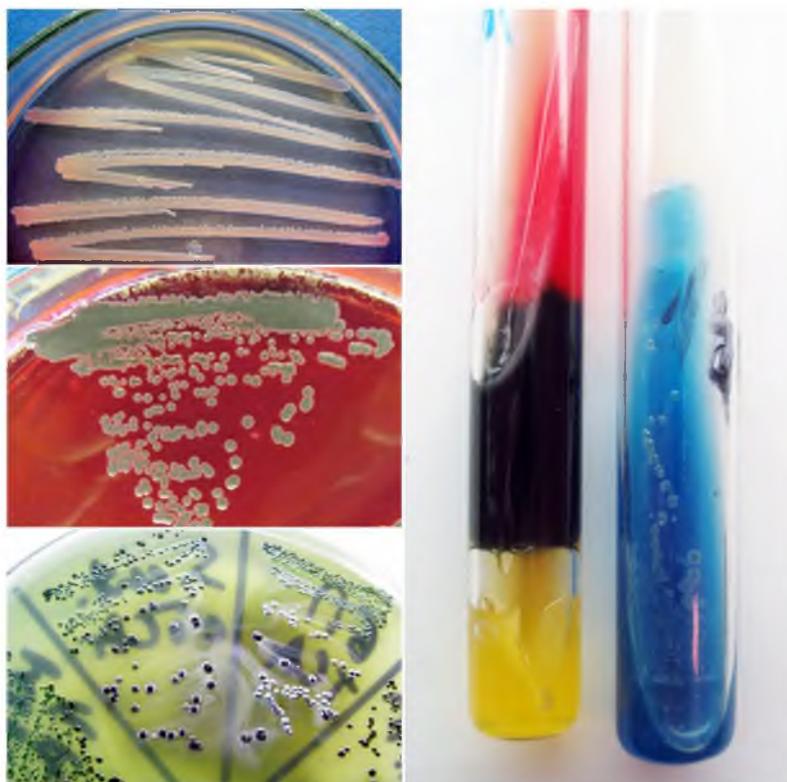
Рисунок 2 – Рост культур *Escherichia coli* на различных питательных средах

На втором месте у всех видов птиц – кокковая микрофлора, от 18,9 % (у яичной) до 32,7 % (у гусей). На третьем месте – условно-патогенные энтеробактерии рода протей (*Proteus*), от 7,1–8,4 % у перепелов и яичной птицы до 18,5–23 % у бройлеров и индеек соответственно. Скорее всего, это связано с преимущественной напольной технологией выращивания бройлеров и индеек на подстилке, в отличие от перепелов и яичной птицы, у которых преобладает клеточное содержание. Из протеев были выделены виды протей обыкновенный *Proteus vulgaris* и протей чудесный *Proteus mirabilis*. Видовую идентификацию проводили с использованием пробы на индол с реактивом Эрлиха, специальных тест-полосок или энтеротестов. *Proteus vulgaris* обладает положительной реакцией на индол, *Proteus mirabilis* – отрицательной. Преобладание протеев в организме птиц нарушает микробиологический статус, свидетельствует о нарушении микробиоценоза кишечника, вследствие чего активизируется вторичная микрофлора. Протеи обладают различными факторами токсигенности и инвазивности и при определённых условиях способны вызывать различные патологии лёгких, мочеполовой системы, кожи, кишечника и т. п. Факт наличия генов

патогенности, способность некоторых протеолитических ферментов к специфическому разрушению иммуноглобулинов А и G, а также синтез антибактериальных веществ – протеоцинов свидетельствует о том, что высокая концентрация протеев в кишечнике является негативным фактором, который способен снизить устойчивость организма к развитию патологий желудочно-кишечного тракта [12]. Протей сравнительно устойчив во внешней среде, хорошо переносит замораживание. Резистентен одновременно ко многим антибиотикам и дезинфицирующим веществам.

Синегнойная палочка *Pseudomonas aeruginosa* от перепелов не была выделена. У других видов птиц процент обнаружения был примерно равным: по 1,5 % у яичной птицы, индеек и гусей и 2,4 % у бройлеров. Более высокий показатель у бройлеров связан с напольным содержанием птицы, нередко на несменяемой подстилке.

Только от яичной птицы были выделены микроорганизмы *Gallibacterium anatis* (*G. anatis*, ранее – *Pasteurella anatis*) – грамотрицательные бактерии, относящиеся к семейству *Pasteurellaceae*. Инфекция, вызываемая *G. anatis* является новой болезнью. Возбудитель встречается у разных видов птиц (индюки, гуси, утки, фазаны, куропатки,



слева сверху – рост культуры *Salmonella Enteritidis* на среде Эндо; слева в середине – рост культуры *Salmonella Enteritidis* на XLD-агаре; слева снизу – рост культуры *Salmonella Enteritidis* на висмут-сульфит агаре – чёрные колонии с зеркальным металлическим блеском окрашиванием среды под колонией под колонией в чёрный цвет вследствие образования сероводорода; справа – рост культуры *Salmonella Enteritidis* на трёхсахарном агаре Олькеницкого (слева) и среде Симмонса (справа) – утилизация цитрата Симмонса
Рисунок 3 – Рост культур *S. Enteritidis* на разных питательных средах

волнистые попугайчики, павлины, дикая птица), у крупного рогатого скота и свиней. Галлибактериоз широко распространен в странах Европы, Африки, Азии, Америки и т. д. Тенденция к расширению ареала инфекции прослеживается во всём мире. Имеются сообщения об участии *G. anatis* в развитии летальной бактериемии у человека со сниженным иммунным статусом на фоне муковисцидоза [13].

В последние годы галлибактериоз стал серьёзной проблемой для стран с развитым птицеводством, так как провоцирует широкий спектр инфекционных поражений репродуктивной и респираторной систем птиц: пневмонию, перикардит, гепатит, овариит, сальпингит, дегенерацию яичных фолликулов, энтерит, перитонит, бактериемию и септицемию (сепсис), поражения верхних дыхательных путей у кур, способствующих существенному снижению яичной продуктивности, выбраковке и/или гибели. *G. anatis* зачастую выделяется вместе с *E. coli*. Предрасполагающими факторами являются сопутствующие инфекции, сезонные изменения, резкие изменения погоды, возраст, иммунный статус, генетическая предрасположенность, гормональные влияния и стресс [4; 13].

Удельный вес микроорганизмов рода *Clostridium* в общем спектре микрофлоры в среднем составил 4,2 % и колебался от 3,0 % (у бройлеров) до 5,5 % (у индеек и гусей). Наименьший процент выделения клостридий у бройлеров, вероятнее всего, связан с коротким сроком жизни, в среднем 35–37 суток. Наибольший процент у индеек и гусей связан с более длительным сроком выращивания и напольным содержанием. У продолжительно эксплуатируемой птицы яйценоских кроссов процент выделения клостридий чуть меньше – 4,9 %, за счёт клеточного содержания и меньшего контакта с помётом.

Удельный вес эпидемиологически значимых микроорганизмов рода *Salmonella* в общем спектре микрофлоры в среднем составил 3,8 % и колебался от 0,7 % (у индеек) до 8,1 % (у яичных). Наибольший процент и видовое разнообразие сальмонелл выявлены у яичной птицы – 8,1 %, что связано с длительной, более одного года, эксплуатацией промышленных несушек. Чаще всего выделяли сальмонеллы серовариантов *Salmonella Enteritidis* (рисунок 3), *Salmonella Typhimurium*, *Salmonella Gallinarum* и *Salmonella Infantis*.

В отдельных птицеводствах процент выде-

ления *S. Enteritidis* был высоким: достигал 25,7 %, а в других – 3,9–4,4 %. Это свидетельствует о том, что доля выявления сальмонелл зависит от эпизоотической ситуации в каждом конкретном хозяйстве. В ряде птицеводств *S. Enteritidis* выделяли из помёта клинически здоровых кур, что указывает на возможную поверхностную контаминацию скорлупы яиц. А это – фактор риска переноса сальмонелл как в аспекте возникновения эпизоотического неблагополучия птицеводства, так и в эпидемиологическом аспекте. Необходимо создание эпизоотического благополучия, охраны здоровья птиц и обеспечения охраны здоровья людей, то есть создание эпидемического благополучия, следствием чего является производство продукции, свободной от опасной и условно-патогенной микрофлоры.

В 2018–2020 годах на наличие сальмонелл исследовано 219020 проб мяса птицы и птицеводческой продукции, из них в 0,80 % случаев обнаружены *Salmonella Enteritidis*, *Salmonella Typhimurium*, *Salmonella Infantis*. Следует обратить внимание, что в соответствии с требованиями технических регламентов ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 051/2021 не допускается присутствие сальмонелл в 25 г мяса птицы [6].

В последние годы значительно расширился спектр серовариантов сальмонелл, которые циркулируют среди животных и птиц, и наряду с увеличением процента выделения *S. Enteritidis* лаборатории всё чаще выделяют *S. Typhimurium* и *S. Infantis* [14].

По итогам исследований наибольшее биоразнообразие патогенной микрофлоры (все 12 выделенных групп микроорганизмов) выявлено у яичной птицы. Это, вероятно, связано с наибольшим, по сравнению с другими видами сроком эксплуатации несушек. В некоторых хозяйствах яичную птицу содержат до 2 лет. На втором месте по биоразнообразию выделенной микрофлоры бройлеры, от них выделено 11 групп микроорганизмов (кроме *Bacillus spp.*). На третьем месте – водоплавающая птица, от них выделены 10 групп (кроме *Bacillus spp.* и *Micrococcus spp.*). Наименьшее биоразнообразие установлено у индеек (9 групп, кроме *Bacillus spp.*, *Micrococcus spp.* и грибов) и перепелов (7 групп, кроме *P. aeruginosa*, *Bacillus spp.*, *Micrococcus spp.*, респираторной микрофлоры и грибов).

Для профилактики бактериальных болезней птиц в промышленном птицеводстве, обеспечения эпизоотического благополучия хозяйства необходимо соблюдать ветеринарно-санитарный режим работы и зоотехнологические параметры, использовать для инкубации яйца от благополучных стад, контролировать бактериальные болезни; прово-

дить микробиологический мониторинг вывода и выращивания цыплят, использовать эффективные антибактериальные препараты; применять про- и пребиотики; вести контроль качества дезинфекции; применять средства специфической профилактики (вакцинация, бактериофаги); контролировать точки критического контроля анализа опасности (НАССР).

Микроорганизмы следует контролировать, а не уничтожать, чтобы поддержать естественный баланс кормов и кормовых добавок в мире без антибиотиков. Если стремиться уничтожить бактерии, они стремятся выжить и размножиться, будут находить новые способы приспособления к препятствиям [15].

Поскольку все бактериальные болезни передаются с яйцом, трансвариально (микоплазмоз, пуллороз и др.), либо за счёт контаминации скорлупы и последующего всасывания поверхностной микрофлоры в подскорлупные оболочки, важное место в профилактике бактериальных болезней птиц занимает качественная подготовка инкубационных яиц и контроль за инкубацией. Радикальным технологическим звеном в профилактике бактериальных болезней птиц является выводной инкубатор – один из основных энергобиологических узлов промышленного птицеводства, так как в процессе инкубации происходит увеличение микробного потенциала до критических размеров. Разработанный авторами микробиологический мониторинг обеспечивает контроль вывода [16].

В связи с запретом использования кормовых антибиотиков в странах ЕС ведётся поиск альтернативы этим препаратам. В настоящее время в мире наблюдается тенденция постепенного отхода от применения в птицеводстве химических препаратов и замены их биологическими. Такие добавки, как пробиотики, пребиотики, синбиотики, симбиотики, подкислители и фитобиотики, не уступают антибиотикам по эффективности, но исключают негативные последствия [17]. Разработаны и широко применяются способы профилактики бактериальных болезней и улучшения микробиоценоза организма птицы с помощью про- и пребиотиков [16].

Обязательной составляющей контроля бактериальных болезней птиц является внедрение системы НАССР (анализ рисков критических контрольных точек) – оценки производственного процесса с точки зрения анализа опасности и соответствующих им степеней риска. Центральным звеном концепции являются три контролируемых этапа: предотвращение опасности, предотвращение распространения опасности и устранение опасности. Оценка с этих позиций технологического цикла производства позволяет создать эпи-

зоотическое благополучие хозяйства и получение безопасной продукции.

Для мониторинга стад птицы по особо опасным бактериальным заболеваниям и своевременного проведения лечебно-профилактических мероприятий необходимо регулярно проводить комплекс эпизоотологических, клинических, патологоанатомических, микробиологических, вирусологических, серологических и других исследований [18].

Заключение. Спектр микрофлоры, выделяемой от разных видов птицы на птицефабриках, достаточно широк, включает в себя более 30 видов микроорганизмов. Доминирующими у всех видов птиц являются *Escherichia coli*, кокковая микрофлора, протеи. Также были выделены и эпидемиологически опасные бактерии, сальмонеллы. Видовой состав выделяемой микрофлоры обусловлен эпизоотической ситуацией в каждом отдельном хозяйстве, следствием чего является различное процентное соотношение доминирующих видов. Во всех случаях отмечено развитие смешанных инфекций (в т. ч. с вирусными и паразитарными болезнями), ассоциативное воздействие разных видов микроорганизмов на организм птицы.

Предлагаемая система контроля бактериальных болезней птицы обеспечивает своевременную диагностику и проведение необходимого комплекса противозоотических мероприятий как в отношении патогенной и условно-патогенной микрофлоры, так и эпидемиологически опасной. Однако положительный эффект проводимых мероприятий может быть достигнут лишь в комплексе с выполнением ветеринарно-санитарного режима работы хозяйства и при полном соблюдении ветеринарной и зоотехнической технологий выращивания птицы.

Список источников

1. Рациональное использование пробиотиков и фитобиотиков в птицеводстве для получения мяса цыплят-бройлеров и перепелов высокой пищевой ценности: научно-практические рекомендации / У.И. Кундюкова [и др.]. Екатеринбург: Изд-во Уральского ГАУ, 2023. 48 с. ISBN 978872035237. EDN: GSWKFO.
2. Кормовой концентрат на основе микродорослей для цыплят-бройлеров / Е.Н. Андрианова [и др.] // Птицеводство. 2017. № 1. С. 17-21. EDN: VIKUDO.
3. Рождественская Т.Н. Особенности профилактики ассоциированного респираторного синдрома бактериальной этиологии у птиц // Ветеринария и кормление. 2019. № 6. С. 37-39. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-6-9. EDN: BLYRDO.
4. Новикова О.Б., Павлова М.А. Актуальные и новые болезни птиц бактериальной этиологии // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2017. № 4 (6). С. 40-44. EDN: ZXOHWD.
5. Асмолова О.Л., Землянская Н.И. Микрофлора дикой и синантропной птицы, объектов птицеводческих хозяйств в сравнительном аспекте // Аграрный вестник Урала. 2015. № 9 (139). С. 32-35. EDN: UMKXCR.
6. Курмакаева Т.В., Козак С.С., Баранович Е.С. К вопросу о заболеваемости птицы отдельными бактериальными болезнями и обеспечение биобезопасности // Ветеринария сегодня. 2024. Т. 13. № 2. С. 171-176. DOI: 10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176. EDN: LXEXFR.
7. Бобылева Г.А., Гуцин В.В. Вступая в новый 2020 г. подводим итоги и определяем задачи на будущее // Птица и птицепродукты. 2020. № 1. С. 4-6. EDN: EKVHIL.
8. Новикова О.Б. Разработка способов профилактики и усовершенствование методов диагностики бактериальных болезней птиц: дис. ... докт. вет. наук: 06.02.02: Санкт-Петербург, 2021. 433 с. EDN: ZZTXSR.
9. Чашка Петри: пат. 173791 U1 Рос. Федерация. № 201615229 / Щепеткина С.В., Новикова О.Б.; заявл. 28.12.2016; опубл. 11.09.2017.
10. Новикова О.Б. Микрофлора, выделяемая от перепелов и контроль бактериальных болезней в перепеловодческих птицеводческих хозяйствах // Эффективное животноводство. 2020. № 9 (166). С. 66-69. DOI: 10.24412/cl-33489-2020-9-66-69. EDN: YFSJCA.
11. Дмитриева М.Е., Алхлаев И.М. Поставили диагноз колибактериоз? Вы не ошиблись? // Farm Animals. 2014. № 3 (7). С. 62-64. EDN: SNQPOD.
12. Болезни птиц, вызываемые условно-патогенной микрофлорой / Э.Д. Джавадов [и др.] // Эффективное животноводство. 2023. № 6 (188). С. 8-12. DOI: 10.24412/cl-33489-2023-6-8-12. EDN: NEZIJF.
13. Галлибактериоз сельскохозяйственной птицы / А.И. Лаишевцев [и др.] // Ветеринария. 2020. № 9. С. 27-33. DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.9.27-33. EDN: FSNMFM.
14. Чугунова Е.О., Татарникова Н.А. Сальмонеллез сельскохозяйственных животных и птиц: характеристика возбудителя, распространенность в Пермском крае и эпидемиологическое значение: учебное пособие. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. 134 с.
15. Whitehead R. Controlling bacteria is better than killing them // FoodNavigator [Электронный

ресурс]. URL: <https://www.feednavigator.com/Article/2019/04/09/Controlling-bacteria-is-better-than-killing-them/> (дата обращения: 03.09.2024).

16. Новикова О.Б., Павлова М.А. Система контроля бактериальных болезней птиц в современных условиях промышленного птицеводства // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. № 4 (16). С. 153-159. EDN: ZVZPHB.

17. Замещение кормовых антибиотиков в рационах. Сообщение II. Микробиота кишечника и продуктивность мясных кур (*Gallus gallus* L.) на фоне фитобиотика / И.А. Егоров [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 4. С. 798-809. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.4.798rus. EDN: RXVDGV.

18. Хорошевская Л.В., Хорошевский А.П. Бактериальные инфекции – угроза рентабельности промышленного птицеводства // Эффективное животноводство. 2020. № 2 (159). С. 22-23. DOI: 10.24411/9999-007A-2020-10009. EDN: OVRIRA.

References

1. Kundryukova U.I. et al. *Ratsional'noe ispol'zovanie probiotikov i fitobiotikov v ptitsevodstve dlya polucheniya myasa tsyplyat-broilerov i perepelov vysokoi pishchevoi tsennosti: nauchno-prakticheskie rekomendatsii* [Rational use of probiotics and phytobiotics in poultry farming to obtain high nutritional value broiler chicken and quail meat: scientific and practical recommendations]. Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skii GAU; 2023: 48. ISBN 978872035237. EDN: GSWKFO. (In Russ).
2. Andrianova E.N. et al. Kormovoi konsentrat na osnove mikrovodoroslei dlya tsyplyat-broilerov [Microalgae based feed concentrate for broiler chickens]. *Ptitsevodstvo*. 2017; (1): 17-21. EDN: VIKUDO. (In Russ).
3. Rozhdestvenskaya T.N. Osobennosti profilaktiki assotsirovannogo respiratornogo sindroma bakterial'noi etiologii u ptits [Features of prevention of associated respiratory syndrome of bacterial etiology in birds]. *Veterinaria i kormlenie*. 2019; (6): 37-39. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-6-9. EDN: BLYRDO. (In Russ).
4. Novikova O.B., Pavlova M.A. Aktual'nye i novye bolezni ptits bakterial'noi etiologii [Current and new diseases of birds of bacterial etiology]. *Aktual'nye voprosy sel'skokhozyaistvennoi biologii*. 2017; 4(6): 40-44. EDN: ZXOHWD. (In Russ).
5. Asmolova O.L., Zemlyanskaya N.I. Mikroflora dikoi i sinantropnoi ptitsy, ob'ektov ptitsevodcheskikh khozyaistv v sravnitel'nom aspekte [Microflora of wild and synanthropic birds, objects of poultry farms in a comparative aspect]. *Agricultural Bulletin of the Ural*. 2015; 9(139): 32-35. EDN: UMKXCR. (In Russ).
6. Kurmakaeva T.V., Kozak S.S., Baranovich E.S. K voprosu o zabolevaemosti ptitsy ot del'nymi bakterial'nymi boleznyami i obespechenie biobezopasnosti [On the issue of poultry morbidity with individual bacterial diseases and ensuring biosecurity]. *Veterinariya segodnya*. 2024; 13(2): 171-176. DOI: 10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176. EDN: LXEXFR. (In Russ).
7. Bobyleva G.A., Gushchin V.V. Vstupaya v novyi 2020 g. podvodim itogi i opredelyaem zadachi na budushchee [Entering the new 2020, we sum up the results and define tasks for the future]. *Poultry & chicken products*. 2020; (1): 4-6. EDN: EKVHIL. (In Russ).
8. Novikova O.B. Razrabotka sposobov profilaktiki i usovershenstvovanie metodov diagnostiki bakterial'nykh boleznei ptits [Development of methods for prevention and improvement of diagnostic methods for bacterial diseases of birds]: [Dissertation]. Saint Petersburg; 2021: 433. EDN: ZZTXSR. (In Russ).
9. Chashka Petri [Petri dish]: Pat. 173791 U1 Rus. Federation. No 201615229 / Shchepetkina S.V., Novikova O.B.; dec. 28 December 2016; publ. 11 September 2017. (In Russ).
10. Novikova O.B. Mikroflora, vydelyaemaya ot perepelov i kontrol' bakterial'nykh boleznei v perepelovodcheskikh ptitsekhozyaistvakh [Microflora isolated from quails and control of bacterial diseases in quail poultry farms]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2020; 9(166): 66-69. DOI: 10.24412/cl-33489-2020-9-66-69. EDN: YFSJCA. (In Russ).
11. Dmitrieva M.E., Alkhlaev I.M. Postavili diagnoz kolibakterioz? Vy ne oshiblis'? [Have you diagnosed colibacillosis? Are you right?]. *Farm Animals*. 2014; 3(7): 62-64. EDN: SNQPOD. (In Russ).
12. Javadov E.D. et al. Bolezni ptits, vzyvaemye uslovno-patogennoi mikrofloroi [Bird diseases caused by opportunistic microflora]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2023; 6(188): 8-12. DOI: 10.24412/cl-33489-2023-6-8-12. EDN: NEZIJF. (In Russ).
13. Laishevtev A.I. et al. Gallibakterioz sel'skokhozyaistvennoi ptitsy [Gallibacteriosis of agricultural poultry]. *Veterinaria*. 2020; (9): 27-33. DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.9.27-33. EDN: FSNMFM. (In Russ).
14. Chugunova E.O., Tatarnikova N.A. *Sal'monellez sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh i ptits: kharakteristika vzbuditelya, rasprostranennost' v Permskom krae i epidemiologicheskoe znachenie: uchebnoe posobie* [Salmonellosis of farm animals and birds: characteristics of the pathogen, prevalence

in the Perm region and epidemiological significance: a textbook]. Perm: IPTs «Prokrost»; 2014: 134. (In Russ).

15. Whitehead R. Controlling bacteria is better than killing them. FoodNavigator. [Internet]. URL: <https://www.feednavigator.com/Article/2019/04/09/Controlling-bacteria-is-better-than-killing-them/> (Accessed: 03.09.2024).

16. Novikova O.B., Pavlova M.A. Sistema kontrolya bakterial'nykh boleznei ptits v sovremennykh usloviyakh promyshlennogo ptitsevodstva [System of control of bacterial diseases of birds in modern conditions of industrial poultry farming]. *Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives*. 2017; 4(16): 153-159. EDN: ZVZPHB. (In Russ).

17. Egorov I.A. et al. Zameshchenie kormovykh antibiotikov v ratsionakh. Soobshchenie II. Mikrobiota kishchechnika i produktivnost' myasnykh kur (Gallus gallus L.) na fone fitobiotika [Substitution of feed antibiotics in diets. Message II. Gut microbiota and productivity of meat chickens (Gallus gallus L.) against the background of phytobiotic]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2019; 54(4): 798-809. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.4.798rus. EDN: RXVDGV. (In Russ).

18. Khoroshevskaya L.V., Khoroshevsky A.P. Bakterial'nye infektsii – ugroza rentabel'nosti promyshlennogo ptitsevodstva [Bacterial infections threaten the profitability of industrial poultry farming]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2020; 2(159): 22-23. DOI: 10.24411/9999-007A-2020-10009. EDN: OVRIRA. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Новикова О.Б. – научное руководство, сбор литературных данных по тематике исследования, отбор проб патологического материала, проведение исследований, анализ данных, концепция представления материалов, анализ и интерпретация данных, подготовка текста статьи, подготовка графического материала, итоговые выводы.

Герасимова О.А. – отбор проб патологического материала, проведение исследований, редактирование статьи.

Красков Д.А. – отбор проб патологического материала, проведение исследований, редактирование статьи.

AUTHOR CONTRIBUTION

Novikova, O.B. – scientific guidance, collection of literary data on the subject of research, sampling of pathological material, conducting research, data analysis, concept of presentation of materials,

analysis and interpretation of data, preparation of the text of the article, preparation of graphic material, final conclusions.

Gerasimova, O.A. – sampling of pathological material, conducting research, editing the article.

Kraskov, D.A. – sampling of pathological material, conducting research, editing the article.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все эксперименты с животными проводили гуманно в соответствии с принципами, выраженными в Хельсинской декларации (Declaration of Helsinki).

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

All the animal experiments were conducted humanely in accordance with the principles expressed in the Declaration of Helsinki.

Информация об авторах

О.Б. Новикова – доктор ветеринарных наук; AuthorID 397164.

А.О. Герасимова – AuthorID 1205772.

Д.А. Красков – AuthorID 1104599.

Information about the author

O.B. Novikova – Doctor of Veterinary Sciences; AuthorID 397164.

A.O. Gerasimova – AuthorID 1205772.

D.A. Kraskov – AuthorID 1104599.

Статья поступила в редакцию 14.10.2024; одобрена после рецензирования 04.12.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 14.10.2024; approved after reviewing 04.12.2024; accepted for publication 17.12.2024.

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 41–50
Vestnik Kurganskoy GSNA. 2024; (4-52): 41–50

Научная статья

УДК 636.1

Код ВАК 4.2.4

EDN: JZYOKN

ВЛИЯНИЕ КОРМОВЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

Светлана Фаилевна Суханова¹, Нина Аркадьевна Позднякова²✉

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

² Курганский государственный университет, Курган, Россия

¹ nauka007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4921-1725>

² nina_ksaa@mail.ru ✉, <https://orcid.org/0009-0005-1159-7791>

Аннотация. Целью исследования явилось изучение разработки новых минеральных кормовых добавок на основе сырья, произведенного «Уралхим» и эффективности их использования в рационах лактирующих коров. Опыт проводился в условиях ООО «КХ Барабинское» Далматовского района, где сформировали 3 группы лактирующих коров черно-пестрой породы. Животные контрольной группы получали рацион, принятый в хозяйстве, 1 опытной – с добавкой РусМД № 1 в дозе 150 г, 2 опытной – с добавкой РусМД № 2 в дозе 350 г. Использование экспериментальных минеральных добавок в кормлении лактирующих коров позволило повысить их молочную продуктивность на 6,03–8,24 % и энергетическую ценность молока – на 2,45 и 1,76 %. Дисперсионный анализ позволил установить, что кормовая добавка оказала достоверное влияние на среднесуточный удой в 3-й месяц лактации и в целом за опыт. При этом наибольшую эффективность показала добавка РусМД № 2 в дозе 350 г на голову в сутки. Затраты кормов в ЭКЕ на производство 1 кг молока у животных 2 опытной группы на 5,13 % меньше, чем у коров контрольной, и на 2,63 % по сравнению с 1 опытной. Себестоимость 1 ц молока меньше во 2 опытной группе на 3,94 %, в 1 опытной – на 2,65 % по сравнению с контрольной. Уровень рентабельности производства молока во 2 опытной группе больше на 9,0 и 1,86 % в сравнении с контрольной и 1 опытной соответственно.

Ключевые слова: кормовая минеральная добавка, рацион, лактирующие коровы, молочная продуктивность, качество молока, дисперсионный анализ.

Благодарности: работа финансировалась за счет средств гранта Министерства сельского хозяйства по договору № Д/А - 2390-18 от 15.05.2018.

Для цитирования: Суханова С.Ф., Позднякова Н.А. Влияния кормовых минеральных добавок на продуктивность лактирующих коров // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 41–50. EDN: JZYOKN.

Scientific article

FEED MINERAL ADDITIVE EFFECTS ON THE PRODUCTIVITY OF LACTATING COWS

Svetlana F. Sukhanova¹, Nina A. Pozdnyakova²✉

¹ Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

² Kurgan State University, Kurgan, Russia

¹ nauka007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4921-1725>

² nina_ksaa@mail.ru ✉, <https://orcid.org/0009-0005-1159-7791>

Abstract. The purpose of the work was studies on development of new mineral feed additives based on raw materials produced by Uralchem Group and research on their use effectiveness in the diets of lactating cows. The experiment was conducted in the conditions of 'KKh Barabinskoye' LLC of the Dalmatovo district, where 3 groups of lactating black-and-white cows were formed. The control group animals received the diet conventional on the farm, Experimental Group 1 – the additive of RusMD No. 1 at a dose of 150 g, Experimental Group 2– the additive of RusMD No. 2 at a dose of 350 g. The use of experimental mineral additives in feeding lactating cows allowed for increasing their milk productivity by 6.03–8.24% and the energy value of milk by 2.45 and 1.76 %. The analysis of variance made it possible to establish that the feed additive had a significant effect on the average daily milk yield in the 3rd month of lactation and, in general, during the experiment. At the same time, the RusMD No. 2 additive at a dose of 350 g per head a day showed the greatest effectiveness. The cost of feed in the EFU (energetic feed unit) for the production of 1 kg of milk in animals of the Experimental Group 2 is 5.13 % less than in the cows of the control group and by 2.63 % compared with the Experimental Group 1. The cost of 100 kg of milk is 3.94 % less in Experimental Group 2, and 2.65 % less in Experimental Group 1 compared to the control group. The level of profitability of milk production in the Experimental Group 2 is 9.0 and 1.86 % higher compared to the control and Experimental Group 1, respectively.

Keywords: feed mineral additive, diet, lactating cows, milk productivity, milk quality, analysis of variance.

Acknowledgements: the work was funded by a grant from the Ministry of Agriculture under contract No. D/A - 2390-18 as of 05.15.2018.

For citation: Sukhanova S.F., Pozdnyakova N.A. Feed mineral additive effects on the productivity of lactating cows // Vestnik Kurganskoy GSNA. 2024; (4-52): 41–50. EDN: JZYOKN. (In Russ).

Введение. Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы запланировано повышение удельного веса российской продукции в общих ресурсах продовольственных товаров молока и молокопродуктов до 90,2 %. Молочное скотоводство на сегодняшний день остается одной из ведущих отраслей животноводства, и его развитие имеет большое значение в обеспечении продовольственной безопасности страны. Добиться высоких удоев и повышения содержания жира в молоке можно только при использовании научно обоснованных подходов [1; 2]. При этом необходимо учитывать и такие факторы внешней среды, как содержание и уход, распорядок дня на ферме, подготовка вымени, способ доения и др. По мнению ряда авторов, ключевым фактором успешного развития молочного скотоводства служит увеличение продуктивности коров, что может быть осуществлено только при организации полноценного сбалансированного их кормления, ориентированного на учет биологических особенностей и обмен веществ организма животных в различные физиологические периоды. При этом следует уделять особое внимание минеральному кормлению лактирующих коров [3; 4].

Минеральные вещества в организме животных играют важную и разнообразную роль. Они необходимы для поддержания нормальных процессов жизнедеятельности, обмена веществ и повышения продуктивности сельскохозяйственных животных. Решение проблемы полноценности и сбалансированности кормов по питательным веществам, в том числе и минеральным, является одним из основополагающих факторов стойкого благополучия животноводческой отрасли и получения продукции высокого качества [5; 6].

Известно, что большинство растительных кормов не удовлетворяет потребности молочного скота в важных минеральных веществах, которые играют важную роль в организме. Практическое разрешение возникающих затруднений при балансировании рационов возможно либо путем подбора сочетаний кормов требуемого состава, либо введением добавок, производимых пищевой, химической или другими отраслями промышленности [7].

В связи с этим целью исследований явились разработка минеральных кормовых добавок на основе сырья, произведенного «Уралхим», и изучение эффективности их использования в рационах лактирующих коров.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- разработать рецепты минеральных добавок (РусМД) для лактирующих коров;

- изучить влияние кормовых минеральных добавок на продуктивность лактирующих коров и качество молока;

- проанализировать силу влияния кормовой добавки и корреляционную связь продуктивных показателей у лактирующих коров;

- выявить экономический эффект от использования в рационах лактирующих коров разработанных минеральных добавок [8].

Материалы и методы. Для решения поставленных задач в условиях ООО «КХ Барабинское» Курганской области был проведен научно-хозяйственный опыт на лактирующих коровах чернопестрой породы. Подопытные животные были распределены на три группы по 10 голов в каждой, с учетом лактации, живой массы, даты отела, продуктивности.

Содержание животных – привязное, кормление и доение двукратное. Все подопытные животные были клинически здоровы. Кормление животных подопытных групп проводилось, согласно нормам кормления, описанных А. П. Калашниковым [10].

Животные контрольной группы получали рацион, принятый в хозяйстве, 1 опытной – с добавкой РусМД № 1 в дозе 150 г, 2 опытной – с добавкой РусМД № 2 в дозе 350 г. Схема проведения научно-хозяйственных опытов представлена в таблице 1 [9].

Влияние разработанных минеральных добавок на молочную продуктивность коров учитывалось по контрольным доениям. На основании контрольных доений была рассчитана молочная продуктивность коров (ГОСТ Р 51451-99) и определен химический состав молока [11; 12].

В таблице 2 представлены рецепты минеральных добавок для лактирующих коров. Состав минеральных добавок разработан с целью обеспечения животных микроэлементами – марганцем, кобальтом, цинком, медью, йодом и селеном. Основу минеральной добавки (81,4 %) составляют традиционные компоненты рациона животных – кормовая соль, мел (карбонат кальция), а также брусит магния и моноаммонийфосфат. Для повышения вкусовых качеств и поедаемости добавки в ее состав введено 10 % кормовой патоки для связывания частиц при гранулировании продукта.

При составлении рецептуры добавок учитывались биологическая доступность и технологические свойства минеральных солей, а также низкая агрессивность между компонентами. При расчете состава добавок учитывалась суточная потребность животных в минеральных веществах с учетом направления продуктивности, биологических и физиологических особенностей животного [13].

Таблица 1 – Схема проведения научно-хозяйственного опыта

Группа	Число голов в группе	Особенности кормления
Контрольная	10	ОР (основной рацион)
1 опытная	10	ОР принятый в хозяйстве +150 г РусМД № 1
2 опытная	10	ОР принятый в хозяйстве+350 г РусМД № 2

Таблица 2 – Состав кормовых минеральных добавок (на 1000 кг)

Компонент	РусМД № 1	РусМД № 2
Моноам. фосфат	152,00	140,00
Мел	40,00	10,34
NaCl	262,17	302,00
Брусит	60,00	64,00
Селенит натрия	0,053	0,013
Оксид марганца	24,00	6,50
Карбонат кобальта	0,22	0,06
Сульфат цинка	40,00	10,70
Углекислая медь	2,40	0,65
KI	0,155	0,042
FeSO ₄	19,00	5,70
Кормовая патока	100,00	100,00
Известняк	300,00	360,00

Результаты исследований и их обсуждение.

В рацион кормления коров всех групп входило сено костречовое, силос кукурузный, сенаж вико-овсяный, жмых, патока и комбикорм в одинаковом количестве (таблица 3). Структура рационов подопытных коров была следующей (% по питательности): грубые корма – 22,8–23,1, сочные корма – 42,0–43,3, комбикорм – 33,9–34,9.

Для достижения высокой молочной продуктивности большое значение имеет обеспечение рационов энергией и чем выше удои коров, тем больше энергии должно быть в 1 кг сухого вещества рациона. При этом необходимо учитывать тесную связь между уровнем потребления кормов и концентрацией энергии в них [14]. В среднем коровы должны потреблять 2,8–3,2 кг сухого вещества на 100 кг живой массы, при содержании 0,85–0,95 ЭКЕ в 1 кг сухого вещества рациона. Животные всех групп потребляли 3,1–3,2 кг сухого вещества на 100 кг живой массы, а в 1 кг сухого вещества рациона содержалось 0,92–0,95 ЭКЕ.

Для организма очень важно протеиновое питание, так как белки являются основной структурной единицей всего живого, поэтому необходимо балансировать рационы по протеину. Несбалансированность рационов коров по элементам протеинового комплекса является основным фактором, сдерживающим рост продуктивности животных [9]. Для коров средней продуктивности норма переваримого протеина составляет 80–90 г

на 1 ЭКЕ. В рационах всех групп в 1 ЭКЕ содержалось 33,1–87,9 г переваримого протеина.

Оптимальное количество сырой клетчатки в рационах лактирующих коров должно составлять, от сухого вещества 23–25 %. В рационах подопытных коров доля сырой клетчатки в сухом веществе составила 23,69–25,56 %.

Существенное значение в регулировании обмена веществ и энергии в организме имеет оптимальный уровень легкосбраживающих углеводов (сахар, крахмал). Сахаро-протеиновое отношение в рационах лактирующих коров следует поддерживать в пределах 0,8–1,2:1, а отношение крахмала и сахаров – в среднем 1,5–1,8:1. Сахаро-протеиновое отношение в рационах всех групп составило 0,77–0,80:1, а отношение крахмал-сахар – 1,91–1,94:1.

Причиной неполноценного питания лактирующих коров может быть и несбалансированность рациона по содержанию в нем жира. Жиры – высококалорийные вещества, позволяющие повысить общую энергетическую питательность рациона. Это особенно важно при кормлении высокопродуктивных животных. Уровень сырого жира в рационах лактирующих коров должен составлять 3–5 % от сухого вещества рациона. Сырой жир от сухого вещества скармливаемых рационов составлял 2,68–2,83 %.

Основными нормируемыми макроэлементами, участвующими в построении костной ткани,

Таблица 3 – Рацион кормления подопытных коров

Показатель	Группа		
	контрольная	1 опытная	2 опытная
Сено кострцовое, кг	5	5	5
Сенаж викоовсяный, кг	9	8	8
Силос кукурузный, кг	15	15	15
Жмых подсолнечный, кг	0,6	0,5	0,5
Патока, кг	1	1	1
Комбикорм, кг	3,5	3,5	3,5
Соль, кг	0,09	0,06	-
РусМД № 1, г	-	150	-
РусМД № 2, г	-	-	350
Содержится в рационе			
Обменная энергия, МДж	145,02	146,56	146,79
Сухое вещество, кг	15788,85	15459,85	15684,85
Сырой протеин, г	1920,45	1962,45	1962,45
Переваримый протеин, г	1205,09	1288,29	1296,09
Сырая клетчатка, г	4035,80	3715,80	3715,80
Крахмал, г	1923,70	1924,90	1924,90
Сахар, г	1001,25	994,75	1008,50
Сырой жир, г	398,20	420,90	420,90
NaCl, г	87,84	84,16	103,25
Кальций, г	82,39	93,29	127,99
Фосфор, г	52,00	58,81	79,26
Магний, г	34,58	36,90	47,10
Калий, г	197,10	199,35	199,35
Сера, г	33,53	32,09	32,34
Железо, мг	5514,82	5318,82	5318,82
Медь, мг	91,67	224,62	217,07
Цинк, мг	381,62	1248,42	1192,32
Марганец, мг	692,61	1539,31	1494,11
Кобальт, мг	2,56	12,60	14,75
Йод, мг	4,56	16,02	15,27
Каротин, мг	540,30	512,10	512,10
Вит Д, тыс.МЕ	3,60	3,72	3,72
Вит Е, мг	1021,43	1094,63	1094,63

зубов, нормализации работы сердца и других функциях организма, являются кальций и фосфор. Важно не только их количественное содержание, но и соотношение друг с другом. Содержание этих элементов в изучаемых рационах оптимально 2,0 : 1,0.

Таким образом, все опытные животные в достаточной мере были обеспечены питательными

веществами, необходимыми для поддержания жизни и производства продукции.

Для получения высоких удоев и хорошего качества молока большое значение имеет и уровень минерального питания. В таблице 4 представлены результаты влияния кормовых минеральных добавок на молочную продуктивность коров.

Таблица 4 – Молочная продуктивность коров по месяцам лактации, кг

Показатель	Группа		
	контрольная	1 опытная	2 опытная
Суточный удой при постановке на опыт, кг	14,05	14,05	14,4
Массовая доля жира, %	3,75	3,74	3,75
1-й месяц			
Среднесуточный удой, кг	15,40	15,85	16,15
% к контролю		102,92	104,87
Массовая доля жира, %	3,76	3,75	3,77
% к контролю		99,73	100,27
2-й месяц			
Среднесуточный удой, кг	14,00	15,30	15,60
% к контролю		109,29	111,43
Массовая доля жира, %	3,77	3,77	3,80
% к контролю		100	100,80
3-й месяц			
Среднесуточный удой, кг	12,95	14,60	14,90
% к контролю		112,74	115,06
Массовая доля жира, %	3,79	3,82	3,81
% к контролю		100,79	100,53
за опыт (105 дней)			
Среднесуточный удой, кг	14,10	14,95	15,26
Валовой удой за 105 дней, кг	14805	15697,5	16025,63
% к контролю		106,03	108,24
Массовая доля жира, %	3,77	3,78	3,78
Количество надоенного молока в пересчете на 1% жирности, т	55,82	59,34	60,58
% к контролю		106,31	108,53

На опыт были поставлены коровы а 6–7 месяце лактации. Суточный удой коров при постановке на опыт был практически одинаковый во всех группах. Применение РусМД в первый месяц позволило увеличить продуктивность на 2,92 % – в 1 опытной группе и на 4,87 % – во II опытной группе. Затем во всех группах ежемесячно молочная продуктивность начала снижаться, что связано с естественным затуханием продуктивности в период стельности коров. При этом в опытных группах спад молочной продуктивности был менее выражен, чем в контрольной группе.

В целом за период опыта (105 дней) продуктивность коров опытных групп была больше на 6,03 % в 1 опытной группе и на 8,24 % – во 2 опытной, по сравнению с контрольной. С учетом содержания жира в молоке эта разница составила соответственно 6,31 и 8,53 %.

Данные по составу молока и его энергетической

ценности у подопытных коров в начале и в конце опыта приведены в таблице 5.

В начале опыта энергетическая ценность и химический состав молока подопытных животных практически не отличались. К концу опыта произошло изменение состава молока у всех подопытных животных, что связано с разными месяцами лактации, но наибольшие изменения отмечены в молоке коров опытных групп.

Так, энергетическая ценность молока коров 2 опытной группы была больше по сравнению с контрольной и 1 опытной на 2,45 и 0,70 % соответственно. Разница по данному показателю между 1 опытной и контрольной группами составила 1,76 %.

По содержанию сухого вещества в молоке коровы 2 опытной группы превышали контрольную и 1 опытную на 0,39 % и 0,12 % соответственно. Содержание сухого вещества в молоке коров 1 опытной группы превосходило контроль на 0,27 %.

Таблица 5 – Энергетическая ценность и химический состав молока, ($\bar{X} \pm S\bar{x}$)

Показатель	Группа		
	контрольная	1 опытная	2 опытная
в начале опыта			
Энергетическая ценность, МДж	2,76±0,05	2,71±0,03	2,80±0,03
Сухое вещество, %	12,30±0,27	12,30±0,28	12,52±0,17
Молочный жир, %	3,75±0,01	3,74±0,01	3,75±0,01
Лактоза, %	4,63±0,35	4,41±0,36	4,84±0,13
Общий белок, %	3,17±0,13	3,12±0,16	3,18±0,06
Кальций, г	1,24±0,01	1,26±0,01	1,24±0,01
Фосфор, г	1,03±0,04	0,98±0,03	1,02±0,03
в конце опыта			
Энергетическая ценность, МДж	2,79±0,04	2,84±0,01	2,86±0,01
Сухое вещество, %	12,39±0,23	12,66±0,08	12,78±0,04
Молочный жир, %	3,79±0,01	3,82±0,02	3,81±0,02
Лактоза, %	4,57±0,21	4,76±0,13	4,87±0,03
Общий белок, %	3,27±0,02	3,33±0,13	3,37±0,01*
Кальций, г	1,25±0,01	1,30±0,01	1,31±0,01*
Фосфор, г	1,02±0,01	1,03±0,02	1,05±0,01*

*P≤0,05

Содержание жира служит одним из основных показателей, характеризующих питательные свойства и товарные качества молока. Максимальное содержание молочного жира отмечено в 1 опытной группе – на 0,03 и 0,01 % больше, чем в контрольной и 2 опытной соответственно.

Белки молока являются наиболее ценной в пищевом отношении частью молока, обеспечивая белковый обмен клеток организма. Они содержат все незаменимые аминокислоты, необходимые для организма человека [15]. По содержанию белка коровы 2 опытной группы достоверно превосходили контрольную на 0,10 % и 1 опытную – на 0,04 %.

Содержание молочного сахара во 2 опытной группе больше, чем в контроле, на 0,30 % и на 0,11 % по сравнению с 1 опытной. Превышение по данному показателю в 1 опытной группе в сравнении с контрольной составило 0,19 %.

Из макроэлементов наибольшее значение имеют кальций и фосфор. Содержание этих элементов в молоке коров 1 и 2 опытных групп различалось незначительно. Различие по содержанию кальция и фосфора между 1 опытной и контрольной группой составило 3,85 % и 0,97 % соответственно. Достоверно больше содержалось кальция и фосфора в молоке коров 2 опытной группы –

на 4,58 % (P≤0,05) и 2,86 % (P≤0,05), по сравнению с контрольными.

Таким образом, животные, потреблявшие рационы с включением экспериментальных минеральных добавок, не только имели более высокую молочную продуктивность, но и характеризовались большим содержанием энергии, сухого вещества, белка, жира, молочного сахара, кальция и фосфора в молоке.

Дисперсионный анализ в его современном развитии позволяет решать ответственные задачи, возникающие при изучении статистических влияний в зоотехнии: измерение силы влияния, достоверности влияния одного или нескольких факторов на результативный признак [16].

Дисперсионный анализ позволил установить, то кормовая добавка оказала достоверное влияние на среднесуточный удой в 3-й месяц лактации и в целом за опыт. Так, в 1 группе сила влияния на продуктивность черно-пестрых коров составила 32,00 и 75,90 %, во 2 – 27,30 и 79,20 % соответственно (таблица 6).

В начале опыта только в 1 группе выявлена достоверная сила влияния кормовой добавки на такие показатели, как содержание кальция и фосфора в молоке – 44,40 и 21,00 % соответственно (таблица 7).

Таблица 6 – Сила влияния кормовой добавки на среднесуточный удой коров черно-пестрой породы

Показатель	1 группа		2 группа	
	η^2	%	η^2	%
1-й месяц лактации				
Среднесуточный удой	0,019	1,90	0,004	0,40
2-й месяц лактации				
Среднесуточный удой	0,061	6,10	0,057	5,70
3-й месяц лактации				
Среднесуточный удой	0,320	32,00***	0,273	27,30***
в целом за опыт				
Среднесуточный удой	0,759	75,90**	0,792	79,20**

$P \leq 0,01$; ** $P \leq 0,05$; *** $P \leq 0,001$

Таблица 7 – Сила влияния кормовой добавки на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы

Показатель	1 группа		2 группа	
	η^2	%	η^2	%
Начало опыта				
Молочный жир	0,101	10,10	0,008	0,80
Белок	0,018	1,80	0,001	0,10
Сухое вещество	0,105	10,50	0,106	10,6
Лактоза	0,043	4,30	0,079	7,90
Минеральные вещества	0,002	0,20	0,058	5,80
Кальций	0,444	44,40***	0,001	0,10
Фосфор	0,210	21,00***	0,001	0,10
Энергия	0,108	10,80	0,117	11,7
Конец опыта				
Молочный жир	0,230	23,00***	0,089	8,90
Белок	0,047	4,70	0,817	81,70**
Сухое вещество	0,243	24,30***	0,418	41,80***
Лактоза	0,135	13,50	0,333	33,30***
Минеральные вещества	0,002	0,20	0,058	5,80
Кальций	0,681	68,10**	0,821	82,10**
Фосфор	0,163	16,30	0,648	64,80**
Энергия	0,241	24,10***	0,393	39,30***

$P \leq 0,01$; ** $P \leq 0,05$; *** $P \leq 0,001$

В конце опыта в 1 группе фактор «кормовая добавка» оказал достоверное влияние на содержание в молоке молочного жира – 23,00 %, сухого вещества – 24,30 %, кальция – 68,10 %, а также количество энергии – 24,10 %. Во 2 группе достоверное влияние установлено на концентрацию в молоке белка, сухого вещества, лактозы, кальция, фосфора – 81,70, 41,80, 33,30, 82,10 и 64,80 % соответственно, количество энергии – 39,30 %.

Для определения экономической эффективности производства молока от коров при скармлировании рационов с включением экспериментальных минеральных добавок были рассчитаны такие показатели, как удой молока за 105 дней лактации, себестоимость 1 кг молока, общие затраты, прибыль, полученная при продаже полученного молока и рентабельность его производства.

При анализе полученных данных установлено, что удой за 105 дней лактации больше – на 7,86

и 2,05 % у коров 2 опытной группы, чем у сверстниц контрольной и 1 опытной соответственно. Разница по данному показателю между животными 1 опытной и контрольной групп составила 5,92 %.

Затраты кормов в ЭКЕ на производство 1 кг молока у животных 2 опытной группы на 5,13 % меньше, чем у коров контрольной, и на 2,63 % по сравнению с 1 опытной. В связи с большой стоимостью минеральных добавок, включенных в рационы подопытных животных, общие затраты в 1 и 2 опытных группах были несколько больше, чем в контрольной, – на 2,02 и 3,01 % соответственно. Себестоимость 1 ц молока меньше во 2 опытной группе на 3,94 %, в 1 опытной – на 2,65 % по сравнению с контрольной.

Прибыль, полученная от реализации молока сверстниц 1 и 2 опытных групп, была больше, чем в контрольной соответственно на 30,21 % и 33,24 %. Уровень рентабельности производства молока во 2 опытной группе больше на 9,0 и 1,86 % в сравнении с контрольной и 1 опытной соответственно.

Заключение. Таким образом, использование экспериментальных минеральных добавок в кормлении лактирующих коров позволяет повысить их молочную продуктивность и рентабельность производства. При этом наибольшую эффективность показала добавка РусМД № 2 в дозе 350 г на голову в сутки.

Список источников

1. Кравайнис Ю.Я., Коновалов А.В., Кравайне Р.С. Влияние кормовой добавки «Яросил» на хозяйственно-полезные показатели нетелей // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2019. № 5. С. 77-89. DOI: 10.34677/0021-3420-2019-5-77-89. EDN: EJJHARZ.
2. Влияние кормовых добавок Active Mix и Экостимул-2 на продуктивность новотельных коров / Е.М. Гайдукова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 4. С. 64-67. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10413. EDN: ANCISP.
3. Эффективность скармливания комплексной минерально-витаминной добавки в составе рациона лактирующим коровам / А.Р. Фархутдинова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 3. С. 57-61. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10310. EDN: KHMERV.
4. Лушников Н.А. Минеральные вещества и природные добавки в питании животных. Курган, 2003. 192 с.
5. Сабитов М.Т., Фархутдинова А.Р. Переваримость и использование питательных веществ у ремонтных телок при скармливании комплексной минеральной кормовой добавки // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7 (184). С. 150-156. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-150-156. EDN: TXDCPT.
6. Некоторые аспекты минерального питания дойных коров Республики Дагестан / А.А. Алиев [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2021. № 8 (173). С. 119-124. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-119-124. EDN: DMKGFL.
7. Сычева Л.В. Использование питательных веществ рационов лактирующими коровами при скармливании различных кормовых добавок // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 6. С. 63-64. EDN: QIPWLR.
8. Суханова С.Ф., Позднякова Н.А., Ярославцев Ф.В. Эффективность использования добавки Русмд в рационах лактирующих коров // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2020. № 6. С. 28-37. DOI: 10.33920/sei-05-2006-04. EDN: FJTYQG.
9. Позднякова Н.А., Ярославцев Ф.В. Новые минеральные добавки в рационах лактирующих коров // Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2020. С. 291-295. EDN: PFUIKY.
10. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. 3-е изд., перераб. и доп. М., 2003. 456 с.
11. ГОСТ Р 51451-99 Методика учета надоев коровьего молока. М.: Стандартинформ, 2009. 6 с.
12. Суханова С.Ф., Ярославцев Ф.В. Продуктивность и морфобиохимические показатели крови лактирующих коров, потреблявших минеральные кормовые добавки // Известия Горского государственного аграрного университета. 2020. Т. 57. № 2. С. 61-67. EDN: CHRFFT.
13. Разработка принципиально новых видов кормовых добавок для КРС (крупного рогатого скота) на основе сырья отечественного производства АО «ОХК «Уралхим» – Отраслевая сеть инноваций в АПК [Электронный ресурс]. URL: <https://arknet.ru/kormovye-dobavki-dlya-krs/> (дата обращения: 09.09.2024).

14. Овчинников А.А., Овчинникова Л.Ю., Еремкина О.С. Продуктивность и качественный состав молока коров при использовании в рационе биологически активных добавок // Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 1 (29). С. 39-42. EDN: MKNGSS.

15. Ярославцев Ф.В. Влияние кормовых минеральных добавок на молочную продуктивность лактирующих коров // Научное обеспечение безопасности и качества продукции животноводства: сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2019. С. 330-336. EDN: BPDIZL.

16. Суханова С.Ф., Лещук Т.Л., Бисчоков Р.М. Математическое обоснование действия внешних факторов, влияющих на биологический объект // Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 1 (29). С. 46-50. EDN: OUJIZV.

References

1. Kravainis Yu.Ya., Konovalov A.V., Kravaine R.S. Vliyaniye kormovoy dobavki «Yarosil» na khozyaistvenno-poleznye pokazateli netelei [The influence of the feed additive «Yarosil» on the economically useful indicators of heifers]. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2019; (5): 77-89. DOI: 10.34677/0021-3420-2019-5-77-89. EDN: EJHARZ. (In Russ).

2. Gaidukova E.M. et al. Vliyaniye kormovykh dobavok Active Mix i Ekostimul-2 na produktivnost' novotel'nykh korov [The influence of feed additives Active Mix and Ecostimul-2 on the productivity of fresh cows]. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2020; 34(4): 64-67. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10413. EDN: AHCISP. (In Russ).

3. Farkhutdinova A.R. et al. Эффеkтивность скармливания комплексной минерально-витаминной добавки в составе рациона лактирующим коровам // *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2021; 35(3): 57-61. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10310. EDN: KHMERV. (In Russ).

4. Lushnikov N.A. *Mineral'nye veshchestva i prirodnye dobavki v pitanii zhivotnykh* [Minerals and natural additives in animal nutrition]. Kurgan; 2003: 192. (In Russ).

5. Sabitov M.T., Farkhutdinova A.R. Perevarimost' i ispol'zovanie pitatel'nykh veshchestv u remontnykh telok pri skarmlivanii kompleksnoi mineral'noi kormovoi dobavki [Digestibility and utilisation of nutrients in replacement heifers

fed a complex mineral feed supplement]. *The Bulletin of KrasGAU*. 2022; 7(184): 150-156. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-150-156. EDN: TXDCPT. (In Russ).

6. Aliyev A.A. et al. Nekotorye aspekty mineral'nogo pitaniya doinykh korov Respubliki Dagestan [Some aspects of mineral nutrition of dairy cows of the Republic of Dagestan]. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021; 8(173): 119-124. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-119-124. EDN: DMKGFL. (In Russ).

7. Sycheva L.V. Ispol'zovanie pitatel'nykh veshchestv ratsionov laktiruyushchimi korovami pri skarmlivanii razlichnykh kormovykh dobavok [Nutrient utilization in lactating cows fed various feed additives]. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2013; 6: 63-64. EDN: QIPWLR. (In Russ).

8. Sukhanova S.F., Pozdnyakova N.A., Yaroslavtsev F.V. Effektivnost' ispol'zovaniya dobavki Rusmd v ratsionakh laktiruyushchikh korov [Efficiency of using the Rusmd additive in the diets of lactating cows]. *Feeding of agricultural animals and feed production*. 2020; (6): 28-37. DOI: 10.33920/sel-05-2006-04. EDN: FJTYQG. (In Russ).

9. Pozdnyakova N.A., Yaroslavtsev F.V. Novye mineral'nye dobavki v ratsionakh laktiruyushchikh korov [New mineral supplements in diets of lactating cows]. Proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference «Engineering Support in the Implementation of Socio-Economic and Environmental Programs of the AIC». Kurgan: Izd-vo Kurganskaya GSKhA; 2020: 291-295. EDN: PFUIKY. (In Russ).

10. *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* [Norms and rations for feeding farm animals]. In: A.P. Kalashnikov, V.I. Fisinin, V.V. Shcheglov, N.I. Kleymenov, editors. M.; 2003: 456. (In Russ).

11. GOST R 51451-99 *Metodika ucheta nadoev korov'ego moloka* [Methodology for recording cow's milk yield]. M.: Standartinform; 2009: 6. (In Russ).

12. Sukhanova S.F., Yaroslavtsev F.V. Produktivnost' i morfolobiohimicheskie pokazateli krovi laktiruyushchikh korov, potrebyavshikh mineral'nye kormovye dobavki [Productivity and morphobiochemical parameters of blood of lactating cows consuming mineral feed additives]. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2020; 57(2): 61-67. EDN: CHRFFT. (In Russ).

13. Razrabotka printsipial'no novykh vidov kormovykh dobavok dlya KRS (krupnogo rogatogo skota) na osnove syr'ya otechestvennogo

производства АО «ОКХК «Uralkhim» – Otraselevaya set' innovatsii v APK [Development of fundamentally new types of feed additives for cattle based on domestically produced raw materials of JSC UCC Uralchem – Industry Innovation Network in the Agro-Industrial Complex][Internet]. URL: <https://apknet.ru/kormovye-dobavki-dlya-krs/> (Accessed: 09.09.2024). (In Russ).

14. Ovchinnikov A.A., Ovchinnikova L.Yu., Eremkina O.S. Produktivnost' i kachestvennyi sostav moloka korov pri ispol'zovanii v ratsione biologicheski aktivnykh dobavok [Productivity and quality composition of cows' milk when using biologically active additives in the diet]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2019; 1(29): 39-42. EDN: MKNGSS. (In Russ).

15. Yaroslavtsev F.V. Vliyanie kormovykh mineral'nykh dobavok na molochnyuyu produktivnost' laktiruyushchikh korov [The influence of feed mineral additives on milk productivity of lactating cows]. Collection of articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference «Scientific support for safety and quality of livestock products». Kurgan: Izd-vo Kurganskaya GSKhA; 2019: 330-336. EDN: BPDIZL. (In Russ).

16. Sukhanova S.F., Leshchuk T.L., Bischokov R.M. Matematicheskoe obosnovanie deistviya vneshnikh faktorov, vliyayushchikh na biologicheskii ob'ekt [Mathematical justification of the action of external factors influencing a biological object]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2019; 1(29): 46-50. EDN: OUJIZV. (In Russ)

ВКЛАД АВТОРОВ

Суханова С.Ф. – научное руководство; концепция исследования; итоговые выводы.

Позднякова Н.А. – концепция исследования; написание исходного текста; итоговые выводы.

AUTHOR CONTRIBUTION

Sukhanova, S.F. – scientific guidance; the concept of research; final conclusions.

Pozdnyakova, N.A. – the concept of research; writing the original text; final conclusions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Эксперименты с животными проводились в соответствии с Руководством Национального института здравоохранения по уходу и использованию лабораторных животных (<http://oacu.od.nih.gov/regs/index.htm>). Все эксперименты с животными проводились в соответствии с принципами, выраженными в Хельсинской декларации (Declaration of Helsinki).

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

The animal experiments were conducted in accordance with the Guidelines of the National Institute of Health on the Care and Use of Laboratory Animals (<http://oacu.od.nih.gov/regs/index.htm>). All the animal experiments were conducted in accordance with the principles expressed in the Declaration of Helsinki.

Информация об авторах

С.Ф. Суханова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; AuthorID 149859.

Н.А. Позднякова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; AuthorID 370225.

Information about the author

S.F. Sukhanova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; AuthorID 149859. N.A. Pozdnyakova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; AuthorID 370225.

Статья поступила в редакцию 11.11.2024; одобрена после рецензирования 13.12.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 11.11.2024; approved after reviewing 13.12.2024; accepted for publication 17.12.2024.

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 51–60
Vestnik Kurganskoj GSNA. 2024; 4(52): 51–60

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 631.362.36

Код ВАК 4.3.1

EDN: NZRMAS

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР ТОКАМИ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Светлана Владимировна Белозерова^{1✉}, Петр Алексеевич Савиных², Алексей Юрьевич Исупов³

¹ Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина, Вологда, Россия

^{2,3} Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия

¹ 79114412800@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-8752-7929>

² peter.savinyh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5668-8479>

³ isupoff.aleks@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3399-5089>

Аннотация. Целью исследования является определение режимов работы и параметров рабочих органов установки для обработки зерна злаковых культур токами сверхвысокой частоты (далее СВЧ), способствующих получению максимальной пропускной способности и нахождения в зоне облучения в течение 15 с. Для достижения поставленной цели была реализована методика планирования многофакторного эксперимента Бокса – Бенкина. Дано описание используемых параметров и методов их варьирования в ходе эксперимента, а также кратко представлены сведения о работе исследуемых узлов и элементов конструкции исследуемого устройства, принципиально состоящего из двух частей: механической – вибротранспортера и электрической – излучателя сверхвысокой частоты. Проанализировано влияние подачи зернового материала, эксцентриситета и частоты вращения эксцентриков, а также угла наклона желоба вибротранспортера на пропускную способность и среднее время облучения зерна на контрольном участке. Установлено, что при нахождении зернового материала в зоне облучения токами сверхвысокой частоты в течение требуемых 15 с максимальная пропускная способность установки составит 55,95 кг/ч. Необходимыми условиями для их достижения являются: подача – 61,5 кг/ч (зазор выгрузного отверстия – 16,24 мм); эксцентриситет эксцентриков – 3,92 мм (угол между грузами эксцентриками – 150°); наклон ложки / дна транспортера – 7° и частота вращения эксцентриков – 2940±30 мин⁻¹ (частота тока вибратора – 50 Гц). В экспериментальных исследованиях получены математические модели пропускной способности и среднего времени облучения на контрольном участке установки для обработки зерна токами сверхвысокой частоты в зависимости следующих входных параметров: подача зерна, эксцентриситет и частота вращения эксцентриков, а также угол наклона желоба вибротранспортера.

Ключевые слова: математические модели, статистическая обработка, анализ зависимостей, критерии оптимизации, влияние факторов, СВЧ-обработка.

Благодарности: работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина» и ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Для цитирования: Белозерова С.В., Савиных П.А., Исупов А.Ю. Оптимизация работы механической части установки для обработки зерна злаковых культур токами сверхвысокой частоты // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 51–60. EDN: NZRMAS.

Scientific article

OPTIMIZATION OF THE MECHANICAL PART OF THE PLANT FOR CEREAL GRAIN PROCESSING WITH ULTRA-HIGH FREQUENCY CURRENTS

Svetlana V. Belozerova^{1✉}, Petr A. Savinykh², Aleksey U. Isupov³

¹ Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia

^{2,3} Federal Agricultural scientific Research Centr of the North-East named N.V. Rudnitskiy, Kirov, Russia

¹ 79114412800@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-8752-7929>

² peter.savinyh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5668-8479>

³ isupoff.aleks@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3399-5089>

© Белозерова С.В., Савиных П.А., Исупов А.Ю., 2024

Abstract. The purpose of the study is to determine the operating modes and parameters of the operating elements of the plant for cereal grain processing with ultrahigh frequency currents (hereinafter referred to as UHF), which contribute to obtaining maximum output capacity when staying in the irradiation zone for 15 seconds. To achieve the target goal, the method of planning the Box-Benkin multifactorial experimental design was implemented. The article describes the parameters used and methods of their variation during the experiment, as well as gives brief information about the operation of the components and the structural elements of the device under study, which basically consists of two parts, such as a mechanical one, a vibration transporter, and an electric one, an ultrahigh frequency emitter. The study has given an analysis of the influence of grain feed, eccentricity and rotation frequency of the eccentrics, as well as the tilt angle of the vibration conveyor chute on the output capacity and average irradiation time of grain in the control area. It was found that when the grain material is in the irradiation zone with ultrahigh frequency currents during the required 15 seconds, the maximum output capacity of the plant will be 55.95 kg/h. The necessary conditions for their achievement are: feed – 61.5 kg/h (clearance of the discharge opening – 16.24 mm); eccentricity of the eccentrics – 3.92 mm (angle between the eccentric loads – 150°); inclination of the bed/bottom of the conveyor – 7° and rotation frequency of the eccentrics – $2,940 \pm 30 \text{ min}^{-1}$ (frequency of the vibrator current – 50 Hz). In the experimental studies, the mathematical models of the output capacity and average irradiation time at the control site of the grain processing plant with ultrahigh frequency currents were obtained depending on the following input parameters: grain feed, eccentricity and rotation frequency of the eccentrics, as well as the tilt angle of the vibration conveyor chute.

Keywords: mathematical models, statistical processing, dependency analysis, optimization criteria, influence of factors, UHF processing.

Acknowledgments: the work was funded from the budget of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin' and the Federal State Funded Research Institution 'Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky'. No additional grants have been received to conduct or direct this particular study.

For citation: Belozeroва S.V., Savinykh P.A., Isupov A.U. Optimization of the mechanical part of the plant for cereal grain processing with ultra-high frequency currents. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2024; 4(52): 51–60. EDN: NZRMAS. (In Russ).

Введение. Одним из факторов повышения эффективности молочного животноводства и устойчивого их развития является собственное кормопроизводство [1; 2]. Рост производства продукции животноводства напрямую связан с увеличением производства зерновых культур. Однако эффективность растениеводства как отрасли сельского хозяйства во многом зависит от применения химических препаратов, например, при защите растений от болезней и вредителей при предпосевной обработке [3]. Альтернативным методом, способствующим росту урожайности зерновых культур за счет улучшения всхожести семян и устойчивости к вредителям и болезням, является использование предпосевной обработки семенного материала токами СВЧ.

Выявлено, что под влиянием СВЧ-обработки и ее различных режимов, как по мощности воздействия, так и по экспозиции, происходит изменение энергии прорастания семян и их всхожести. Так, семена с исходной всхожестью 90 % после обработки повышали всхожесть на 2...4 %, а при исходной всхожести 62 % – на 5...7 %. Изучение влияния электромагнитного поля на семена перед посевом показало, что такого рода воздействие является стрессовым фактором: изменяется скорость некоторых химических реакций, при этом семена начинают активно функционировать, больше поглощая влаги на начальных фазах прорастания, а крахмал в клетках быстрее переходит в сахара [4–6].

В исследованиях С. В. Вендина совместно с другими учеными описаны результаты изучения влияния химических, физических и сверхвысокочастотных способов обеззараживания зерна перед проращиванием. Установлено, что СВЧ-обработка, наряду с обеззараживанием, повышает энергию роста и дружность проращивания [7].

Микробное обсеменение злаковых зерновых культур может происходить на любой стадии вегетационного периода, а также при послеуборочной обработке зерна. Исследования О. М. Соболевой

показали, что при равных мощности и частоте СВЧ-обработки (700 Вт) продолжительность облучения в течение 5 с приводит к стимулированию роста микроорганизмов на поверхности зерен, облучение в течение 15 с снижает количество микроорганизмов на 86 % и более в зависимости от вида зерновых, а обработка в течение 45 с приводит к полной стерилизации зерен.

Д. А. Будников отмечает, что обработка зерна в псевдооживленном и разряженном состоянии, в том числе с применением микроволновых полей, отличается высокой эффективностью, поэтому данные о значениях коэффициента диэлектрических потерь имеют важное значение при совершенствовании существующего и построении нового оборудования. Автор представляет исследование энергоэффективности СВЧ-сушки сои в псевдооживленном состоянии в зависимости от толщины обрабатываемого слоя, скорости агента сушки, его температуры и удельной мощности воздействующего электромагнитного поля [8–10]. Также описывает результаты определения коэффициента диэлектрических потерь для пшеницы влажностью 11–30 % и плотностью слоя от 220 до 660 кг/м³, которые показали, что общая динамика изменения фактора соответствует друг другу для разной плотности обработки, но значительно отличается по уровню. Наименьшие колебания коэффициента диэлектрических потерь наблюдаются в пределах 0,07–0,15 при обработке пшеницы в псевдооживленном слое. Зависимость диэлектрических свойств может быть описана полиномиальной моделью.

СВЧ-обработка семян показывает не только высокую эффективность в повышении посевных качеств семян, но и демонстрирует оздоровление посевного материала от комплекса фитопатогенных организмов различной этиологии, при этом эффективно уничтожая патогенную микрофлору, локализованную как на поверхности, так и внутри семян.

Технология обработки зерна токами СВЧ может проводиться с целью предпосевной обработки, обеззараживания, сушки, измельчения зерна на кормовые цели [11–13]. Данная технология относится к безопасным способам ведения сельскохозяйственного производства ввиду отсутствия негативного воздействия на окружающую среду [14–16]. Развитие и внедрение инновационных отечественных технологий в сельское хозяйство способствует успешному функционированию отечественных предприятий, в том числе благодаря внедрению технологии СВЧ обработки зерна [17–19].

Материалы и методы. На основании проведенного анализа научно-технической литературы, а при данных теоретических исследованиях [19; 20] предложена конструктивно-технологическая схема установки для обработки зерна злаковых культур токами СВЧ (рисунок 1).

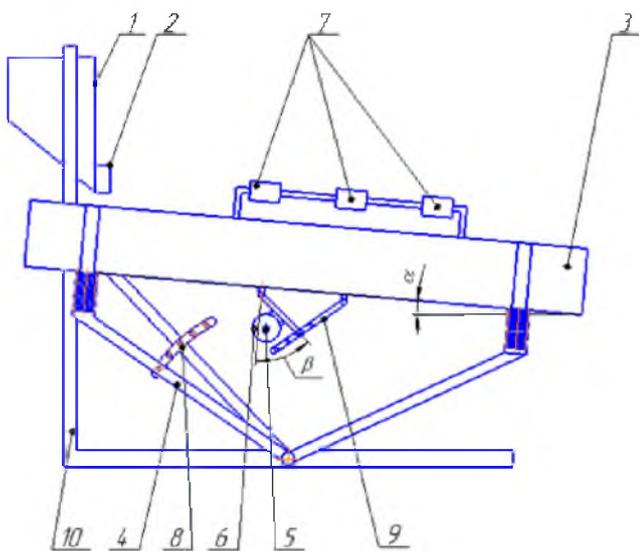
Установка работает следующим образом: зерно из бункера питателя, состоящего непосредственно из бункера (1) и дозирующего устройства (2), поступает в желоб вибрационного транспортера (3), установленный на пружинной подвеске поворотной рамы (10), где под воздействием движущей силы, формируемой колебательными движениями эксцентриков (5) с массой m и эксцентриситетом e , вращающимися с частотой n , расположенными на концах вала электродвигателя (6), и изменяемым углом наклона желоба транспортера α движется по транспортеру. Зерно, движущееся по желобу транспортера (3), являющемуся одновременно камерой СВЧ, подвергается воздействию электромагнитного поля (ЭМП) сверхвысокой частоты (СВЧ), создаваемого магнетронами (7).

Скорость движения зерна по транспортеру,

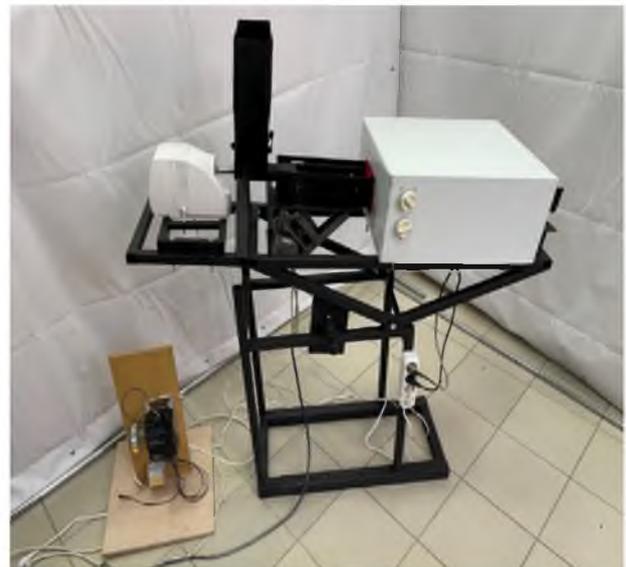
а соответственно, и время обработки СВЧ регулируются путем изменения угла наклона α желоба транспортера за счет механизма изменения угла наклона (8), частотой вращения n эксцентриков (5) и изменения угла положения двигателя (6) относительно нормали к днищу транспортера, именуемом углом направления колебаний β , путем изменения угла положения двигателя (6) относительно лотка транспортера механизмом (9), остов (10) крепится неподвижно, обеспечивая при первоначальной установке горизонтальное положение днища желоба вибротранспортера.

По результатам ранее проведенных однофакторных исследований [20; 21], направленных на выявление параметров, оказывающих наиболее действенное влияние на пропускную способность установки и качество ее обработки зерна токами СВЧ, нами были определены следующие параметры: подача зернового материала, эксцентриситет грузов эксцентриков, частота вращения грузов эксцентриков и угол наклона желоба вибротранспортера.

Целью исследования являлось установление режимов работы установки для обработки зерна злаковых культур токами СВЧ, обеспечивающей максимальную пропускную способность при неизменном высоком качестве обработки зернового материала в течение 15 с [22]. Тем самым необходимо решить компромиссную задачу по поиску оптимума. В связи с этим применена методика планирования и реализации многофакторного эксперимента и, в частности, реализована матрица плана Бокса – Бенкина для четырех факторов. Наименование факторов и их условное обозначение, а также уровни варьирования представлены в таблице 1.



а



б

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема (а) и общий вид (б) установки для СВЧ-обработки зерна злаковых культур

Таблица 1 – Наименование и уровни варьирования факторов

Уровень варьирования фактором	Зазор выгрузного окна, мм	Угол между грузами-эксцентриками, град.	Угол наклона ложа / дна транспортера, град.	Частота тока вибратора транспортера, Гц
	x_1	x_2	x_3	x_4
1	18	150	7	70
0	12	120	11	60
-1	6	90	15	50

В ходе проведения эксперимента установление уровня варьирования факторами осуществлялось следующим образом:

- зазор выгрузного окна бункера-питателя (x_1) изменяли открытием / закрытием заслонки выгрузного бункера на необходимую величину, при этом обеспечивалась подача зернового материала от 20,6 до 243,7 кг/ч;

- угол между грузами-эксцентриками (x_2) регулировали изменением угла между противоположно расположенными на концах вала вибратора парами грузов-эксцентриков, обеспечивая тем самым эксцентриситет 11,20 мм (90°); 7,80 мм (120°) и 3,92 мм (150°) при массе эксцентрика 79 г;

- угол наклона ложи / дна транспортера (x_3) изменяли поворотом корпуса (дна транспортера) относительно горизонта по направлению движения зернового материала в пределах $7...15^\circ$;

- частоту тока вибратора (x_4), изменяющую частоту вращения вала вибратора регулировали частотным регулятором. При этом частота вращения вала электродвигателя с эксцентриками (вибратора) в зависимости от частоты питающего его тока составляла: 2940 ± 30 мин⁻¹ (погрешность ± 1 %) при 50 Гц; 3500 ± 65 мин⁻¹ (погрешность $\pm 1,9$ %) при 60 Гц; 4050 ± 100 мин⁻¹ (погрешность $\pm 2,5$ %) при 70 Гц.

В соответствии с поставленной целью исследований были приняты следующие критерии оптимизации с желаемым результатом их достижения: получение максимальной пропускной способности (производительности) y_1 при обеспечении среднего времени облучения зерновок y_2 в течении 15 с. Так, под средним временем облучения зерновок y_2 понимается среднеарифметическое время прохождения контрольного участка (525 мм) маркерными зерновками

(окрашены в контрастный цвет) в количестве 5 шт. Фиксация результатов эксперимента осуществлялась не менее чем в 3-кратных повторностях в каждом опыте при помощи секундомера и анализа видеофайлов движения зерна по желобу транспортера. Масса навески зерна в бункере-питателе каждый раз составляла 4 кг. В качестве материала использовался ячмень с влажностью 12,4 %.

Результаты исследований и их обсуждение. Обработка экспериментальных данных с последующим исключением малозначимых на конечный результат критериев оптимизации y_1 и y_2 коэффициентов при факторах и взаимодействии факторов позволила получить математические модели (1) и (2):

$$y_1 = 105,86 + 28,18x_1 - 40,11x_2 - 40,48x_3 + 14,56x_4 - 50,19x_1^2 + 24,42x_2x_3 - 26,0x_2x_4; \quad (1)$$

$$y_2 = 4,54 + 2,59x_1 + 1,30x_2 + 2,58x_3 - 1,56x_4 + 1,93x_1x_2 - 1,83x_3x_4. \quad (2)$$

Основные результаты статистической оценки скорректированных моделей (1) и (2) приведены в таблице 2, из данных которой следует, что математические модели (1) и (2) адекватны и имеют достаточно хорошую (R-squared более 80 %) функциональную зависимость между варьируемыми факторами зазора выгрузного окна x_1 , углов между грузами эксцентриками x_2 и наклона ложа / дна транспортера x_3 , а также частоты тока вибратора транспортера x_4 .

Оценку непосредственного воздействия факторов осуществим с помощью графиков непосредственного влияния факторов (рисунок 2).

Таблица 2 – Результаты статистической оценки математических моделей

Модель	Model d.f.	Error d.f.	P-value	Std. error	R-squared	Adj. R-squared
y_1	7	19	0	23,01	87,88	83,41
y_2	6	20	0	1,62	81,89	76,46

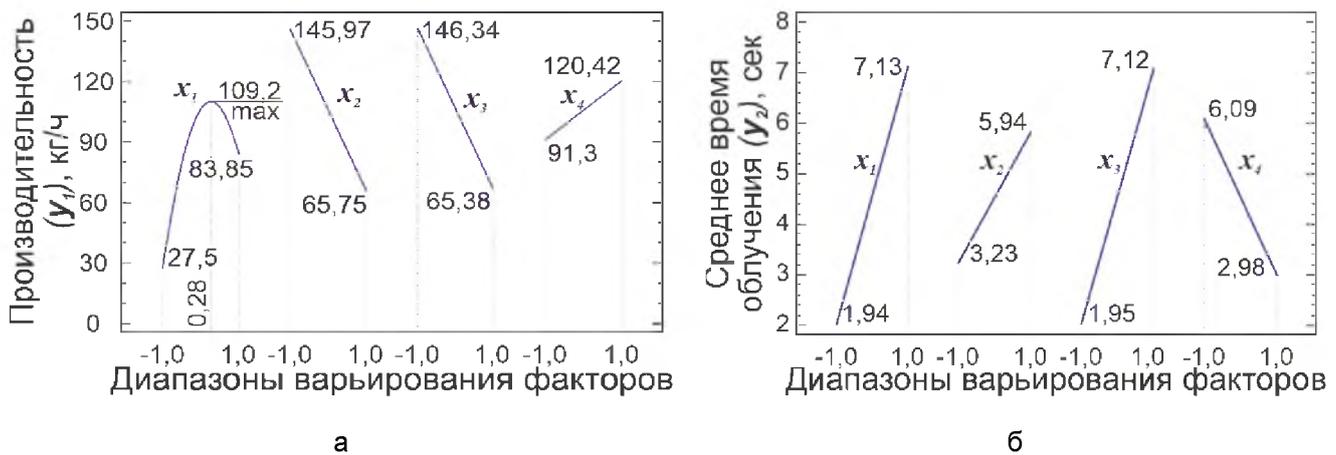


Рисунок 2 – Влияние на пропускную способность y_1 (а) и среднее время облучения материала y_2 (б): зазора выгрузного отверстия x_1 ; угла между грузами эксцентриками x_2 ; угла наклона ложа /дна транспортера x_3 ; частоты тока вибратора транспортера x_4

Анализ представленных на рисунке 2 зависимостей влияния факторов x_1 , x_2 , x_3 и x_4 на критерии оптимизации y_1 и y_2 свидетельствует о том, что:

1) увеличение зазора выгрузного окна x_1 от 6 до 18 мм (от -1,0 до 1,0) приводит к нелинейному (параболическому) росту пропускной способности установки y_1 . Причем максимальная производительность y_1 в 109,2 кг/ч достигается при величине зазора выгрузного окна бункера-питателя 13,68 мм ($x_1 = 0,28$). В то же время среднее время облучения зерна y_2 прямо пропорционально связано с зазором выгрузного окна x_1 , где изменение зазора выгрузного отверстия x_1 от 6 до 18 мм (с -1,0 до 1,0) приводит к росту времени облучения y_2 с 1,94 до 7,13 с. Описываемый эффект от увеличения зазора выгрузного окна x_1 объясняется ростом подачи зерна, т. е. увеличением массы перемещаемого материала. Однако дальнейшее увеличение зазора выгрузного окна более 13,68 мм ($x_1 = 0,28$) приводит к появлению так называемого «завала» желоба транспортёра, т. е. к падению общей скорости материала в результате усиления сил, препятствующих этому движению (внешнее и внутреннее трения материала, изменение кинематических режимов работы транспортера – уменьшение амплитуды и т. п.), и, как следствие, к увеличению времени движения зернового материала на контрольном участке;

2) изменение угла между грузами эксцентриками x_2 в диапазоне от 90 до 150° (от -1,0 до 1,0) приводит к обратно пропорциональному снижению производительности y_1 с 145,97 до 65,75 кг/ч, а также прямо пропорциональному росту среднего времени облучения y_2 с 3,23 до 5,94 с соответственно. Подобный отклик на изменение угла между грузами эксцентриками x_2 связан с изменением средней скорости движения зернового материала в результате уменьшения эксцентриситета во вращающихся эксцентриках на концах вала и, как след-

ствие, кратного падения величины инерциальных сил, под действием которых зерно перемещается по желобу;

3) с увеличением наклона транспортера x_3 с 7° до 15° (с 1,0 до -1,0) наблюдаются вполне ожидаемое снижение времени движения зернового материала y_2 с 7,12 до 1,95 с и прирост пропускной способности y_1 с 65,38 до 146,34 кг/ч в результате увеличения доли силы тяжести разгоняющей зерновой материал и задающей направление движения вдоль желоба /дна вибрационного транспортера. Причем зависимости угла наклона транспортера x_3 для критериев оптимизации y_2 и y_1 пропорциональны.

4) увеличение частоты тока вибратора x_4 с 50 до 70 Гц (с -1,0 до 1,0) приводит к пропорциональному увеличению пропускной способности установки y_1 на 29,12 кг/ч и достигает 120,42 кг/ч. При этом среднее время облучения y_2 пропорционально снижается с 6,09 до 2,98 с. Причиной является рост центробежной силы инерции в вибраторе / эксцентрике в 1,88 раза вызванное увеличением частоты вращения вала с эксцентриками.

Для наглядного представления воздействия парных взаимодействий факторов на критерии оптимизации y_1 и y_2 воспользуемся графиками двумерных сечений (рисунок 3).

Для математической модели (1) статистически значимыми являются парные взаимодействия факторов $x_2 x_3$ и $x_2 x_4$. Поскольку целевой задачей для критерия оптимизации является получение максимальной производительности, то с учетом уже имеющихся данных о непосредственном влиянии факторов x_1 , x_2 , x_3 и x_4 рассмотрим комбинации, обеспечивающие ее достижение. Так, в случае парного взаимодействия факторов $x_2 x_3$ (рисунок 3а) частоту тока вибратора x_4 примем в 70 Гц (1,0), а для парного взаимодействия факторов $x_2 x_4$ (рисунок 3б) угол наклона ложа / дна

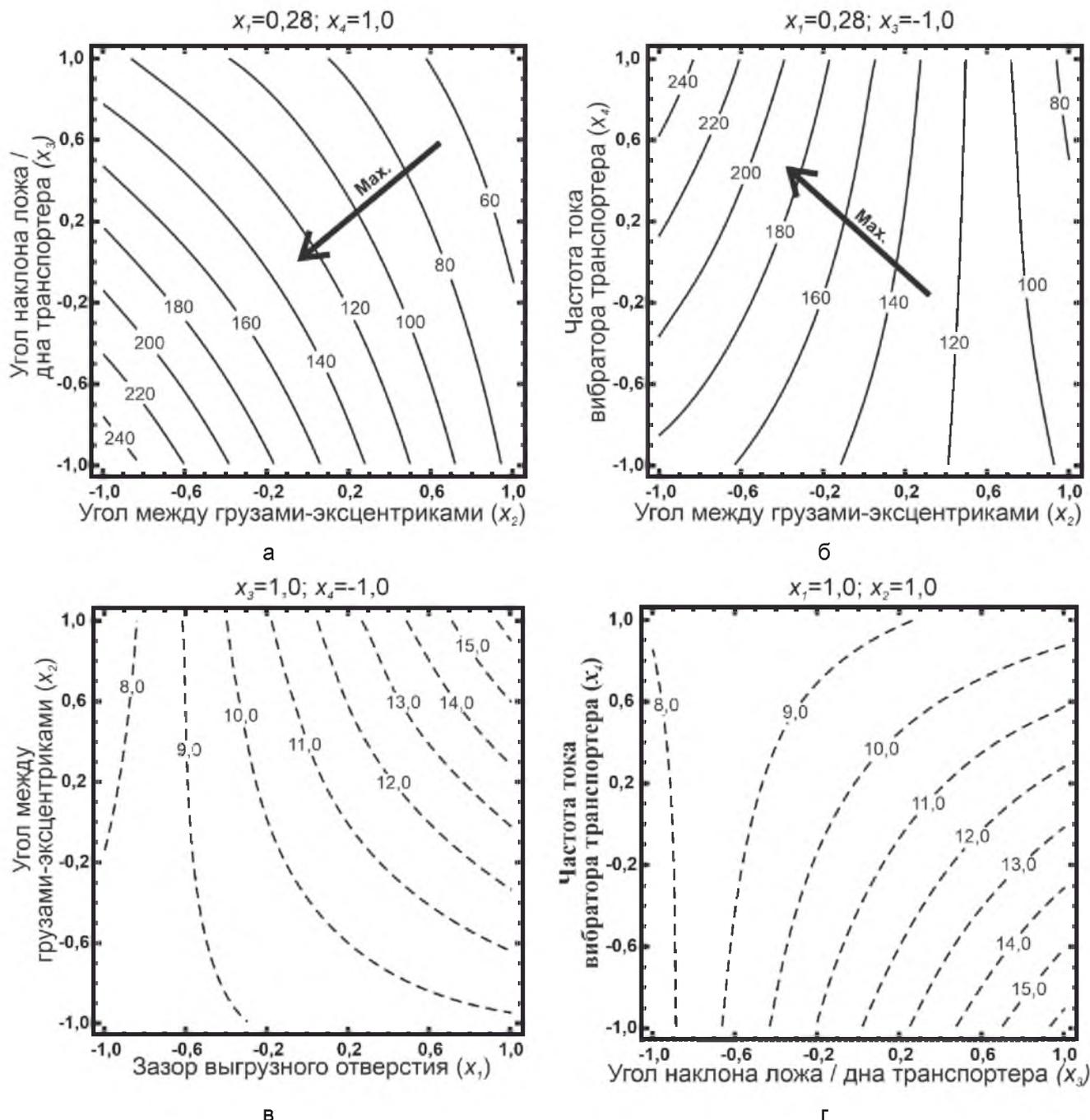


Рисунок 3 – Графики двумерных сечений: производительности (а, б); среднего времени облучения y_2 (в, г)

транспортера x_3 примем в 15° (-1,0). Зазор выгрузного отверстия x_1 в обоих случаях выставим в 13,68 мм (0,28). В результате этого наибольший прирост производительности y_1 (рисунок 2а) оказывает одновременное уменьшение угла между грузами-эксцентриками x_2 до 90° (-1,0) и увеличение угла наклона транспортера x_3 до 15° (-1,0). А в случае взаимодействия факторов x_2 x_4 (рисунок 1б) стремление угла между грузами-эксцентриками x_2 к 90° (-1,0) и роста частоты тока вибратора x_4 до 70 Гц (1,0), так же, как и в первом случае взаимодействия x_2 x_3 , производительность увеличивается с минимально возможных

42,20 кг/ч при ($x_2 = -1,0; x_3 = -1,0$) до максимально возможных 255,38 кг/ч при ($x_2 = 1,0; x_3 = 1,0$), а во втором при x_2 x_4 – с 74,32 кг/ч при ($x_2 = 1,0; x_4 = 1,0$) до тех же максимально возможных 255,38 кг/ч при ($x_2 = 1,0; x_4 = -1,0$).

В математической модели (2) статистически значимыми парным взаимодействиям факторов являются x_1 x_2 и x_3 x_4 . Ввиду того, что целевой задачей является обеспечение времени облучения зернового материала y_2 в 15 с, а по результатам оценки непосредственного влияния факторов на среднее время облучения не удалось выявить значений факторов, удовлетворяющих решению

поставленной задачи (наибольшее время составило 7,13 с), поэтому рассмотрим крайние точки нашей модели (2). Так, в случае взаимодействия факторов x_1, x_2 угол наклона ложа / дна транспортера x_3 и частота тока вибратора x_4 должны фиксироваться на уровне 7° (1,0) и 50 Гц (-1,0) соответственно. А в случае взаимодействия x_3, x_4 факторы зазора выгрузного отверстия x_1 и угла между грузами эксцентриками x_2 фиксируются на уровне 18 мм (1,0) и 90° (1,0) соответственно. Из рисунка 3в следует, что наибольшая разница в значениях среднего времени облучения y_2 наблюдается при зазоре выгрузного отверстия x_1 6 (-1,0) и 18 мм (1,0) при угле между грузами-эксцентриками x_2 в 90° (1,0). В этом случае среднее время облучения y_2 увеличивается с ростом величины зазора выгрузного отверстия x_1 с 7,29 при 6 мм (-1,0) до 16,32 сек при 18 мм (1,0). Также следует отметить, что при углах между грузами-эксцентриками x_2 , близких к 150° (-1,0), в целом снижается отклик критерия y_2 на изменение величины зазора выгрузного отверстия x_1 . Аналогичная ситуация наблюдается при взаимодействии факторов x_3, x_4 . Однако в этом случае наибольший эффект, связанный с ростом среднего времени облучения, оказывает наклон ложа / дна транспортера x_3 при частоте тока вибратора транспортера x_4 70 Гц (-1,0).

Для непосредственного решения обозначенной задачи получения максимальной производительности и при среднем времени облучения зернового материала в течение 15 с воспользовались возможностью Statgraphics по решению оптимизационных компромиссных задач. В результате поставленные цели были достигнуты (таблица 3), а также получены ближайшие значения факторов, обеспечивающие этот результат (таблица 4).

Заключение. В результате проведенного эксперимента получены математические модели (1) и (2), описывающие изменение пропускной

способности и среднего времени облучения на устройстве для обработки зерна злаковых культур токами СВЧ под воздействием подачи зернового материала (зазора выгрузного отверстия x_1), эксцентриситета вращающихся эксцентриков (угла между грузами эксцентриками x_2), наклона ложа / дна транспортера x_3 и частоты вращения эксцентриков вибратора (частоты питающего тока электродвигателя вибратора x_4). Дано описание протекающих процессов при непосредственном влиянии факторов x_1, x_2, x_3 и x_4 и их взаимодействий на критерии оптимизации y_1 и y_2 . Получены необходимые условия для нахождения зернового материала в зоне облучения в течение 15 с и обеспечения производительности вибрационного транспортера в 55,95 кг/ч при подаче 61,5 кг/ч (зазор выгрузного отверстия 16,24 мм); эксцентриситете эксцентриков 3,92 мм (угол между грузами эксцентриками 150 град.); угле наклона ложа / дна транспортера 7° и частоте вращения вала вибратора 2940 ± 30 мин⁻¹ (частота тока вибратора транспортера 50 Гц).

Список источников

1. Зюкин Д.А. Факторы конкурентоспособности российского зерна на мировом рынке и перспективы развития зернового хозяйства в контексте наращивания экспортного потенциала // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 4. С. 531-541. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-04-531-541. EDN: JJCROP.
2. Брагинец А.В., Бахчевников О.Н., Хоменко П.А. Влияние физических и химических способов предпосевной обработки семян озимой пшеницы на ее вегетацию, урожайность и химический состав зерна // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 1 (37). С. 8-20. DOI: 10.5281/zenodo.10925091. EDN: AWLJSV.
3. Технологии и машины для физических методов воздействия на почву, се-

Таблица 3 – Результат оптимизации при решении компромиссной задачи

Наименование и размерность критерия оптимизации	Условное обозначение	Желаемый результат	Фактический результат	Достижение цели, %
Производительность, кг/ч	y_1	Максимум	55,95	35,64
Среднее время облучения, сек.	y_2	15,0	15,0	100

Таблица 4 – Значения факторов при решении компромиссной задачи достижения оптимума

Наименование и размерность фактора	Условное обозначение	Нормированное значение	Фактическое значение
Зазор выгрузного отверстия, мм	x_1	0,71	16,24
Угол между грузами-эксцентриками, град.	x_2	1,0	150
Угол наклона ложа / дна транспортера, град.	x_3	1,0	7
Частота тока вибратора транспортера, Гц	x_4	-1,0	50

- мена и растения / А.А. Завалий [и др.] // *Агроинженерия*. 2021. № 6 (106). С. 11-19. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-6-11-19. EDN: ASCMRB.
4. Митрофанов Д.В. Сравнительная оценка урожайности зерновых культур в зависимости от лимитирующих факторов в условиях почвозащитного земледелия // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24. № 7. С. 870-884. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-870-884. EDN: VATHLM.
5. Мартеха А.Н., Торопцев В.В. Влияние различных способов сушки на физико-механические свойства и всхожесть семян гороха // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26. № 1. С. 65-72. DOI: 10.26897/2687-1149-2024-1-65-72. EDN: RPIKEU.
6. Prospects for the use of microwave energy in grain crop seeding / F.A. Kipriyanov [et al.] // *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 49. No. 4-6. P. 74-78. DOI: 10.24425/jwld.2021.137098. EDN: UJVZCF.
7. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Страхов В.Ю. Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности применения УФ облучения, СВЧ обработки и искусственного освещения при проращивании зерна пшеницы и ячменя на витаминный корм // *Вестник аграрной науки Дона*. 2019. № 2 (46). С. 42-50. EDN: FDTBKS.
8. Будников Д.А. Моделирование электромагнитного поля в зерновом слое различной плотности // *Вестник аграрной науки Дона*. 2018. № 1 (41). С. 40-45. EDN: YWEEDE.
9. Будников Д.А. Определение коэффициента диэлектрических потерь псевдооживленного слоя зерна // *Инженерный вестник Дона*. 2017. № 3 (46). С. 66. EDN: ZWZEWW.
10. Будников Д.А. Результаты экспериментальных исследований фактора диэлектрических потерь зерновоздушной смеси // *Вестник аграрной науки Дона*. 2018. № 3 (43). С. 16-21. EDN: YOINFJ.
11. Черкасова Э.И., Голицыцкий П.В., Антонова У.Ю. Применение СВЧ энергии для обеззараживания зерновой продукции // *Сельский механизатор*. 2024. № 6. С. 21-23. DOI: 10.47336/0131-7393-2024-6-21-22-23. EDN: BWXNPE.
12. Assessment of efficiency of drying grain materials using microwave heating / A. Titlov [et al.] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. No. 8-97. P. 78-85. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154527. EDN: FZOZWL.
13. Kakati B., Bora D., Bujarbarua S. An eco-friendly, pollution-free process for seed germination and plant yield // *AIP Conference Proceedings*. 2019. P. 020021. DOI: 10.1063/1.5096512. EDN: UCYJOT.
14. Альт В.В., Исакова С.П., Балушкина Е.А. Выбор технологий в растениеводстве: подходы и методы, применяемые в информационных системах // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. № 1 (57). С. 52-58. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-52-58. EDN: JAWJKV.
15. Чепик Д.А., Колесников А.В. Проблемы материально-технического обеспечения растениеводства // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2022. № 4 (44). С. 24-31. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-24-31. EDN: SWUDZN.
16. Rifna E.J., Ratish Ramanan K., Mahendran R. Emerging technology applications for improving seed germination // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 86. P. 95-108. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.02.029. EDN: DYHJAF.
17. Intensification of the drying process of small seed oilseeds using microwave electromagnetic radiation / I. Ganeev [et al.] // *Acta Agriculturae Slovenica*. 2020. Vol. 115. No. 2. P. 261-271. DOI: 10.14720/aas.2020.115.2.1359. EDN: WKEKPS.
18. Будников Д.А. Система управления экспериментальной установкой электрофизического воздействия на зерно // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 17. № 2 (66). С. 59-67. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-57-63. EDN: DNWNTY.
19. Modeling the Trajectory of the Movement of Grain Material on the Surface of the Vibrating Chute / A. Isupov [et al.] // *Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology: Materials II International Conference*. 2023. Vol. 3011. P. 20016.
20. Белозерова С.В. Исследование конструктивных параметров СВЧ-установки для термообработки зерна // *Наука, образование /и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия: сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции*. Нальчик: Изд-во Кабардино-Балкарского ГАУ, 2023. С. 430-434. EDN: GPSMSG.
21. Белозерова С.В. Результаты экспериментальных исследований СВЧ-установки для обработки фуражного зерна // *Передовые достижения науки в молочной отрасли: сборник научных трудов по результатам работы V Международной научно-практической конференции*. Вологда-Молочное: Изд-во Вологодской ГМХА, 2023. С. 217-220. EDN: GLNFCC.
22. Савиных П.А., Белозерова С.В. Влияние предпосевной СВЧ-обработки зерна на качественные показатели семенного материала // *Международный технико-эконо-*

мический журнал. 2022. № 4. С. 100-108. DOI: 10.34286/1995-4646-2022-85-4-100-108. EDN: ZKANNE.

References

1. Zyukin D.A. Faktory konkurentosposobnosti rossiiskogo zerna na mirovom rynke i perspektivy razvitiya zernovogo khozyaistva v kontekste narashchivaniya eksportnogo potentsiala [Factors of competitiveness of Russian grain on the world market and prospects for development of grain farming in the context of increasing export potential]. *Agricultural Bulletin of the Ural*. 2024; 24(4): 531-541. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-04-531-541. EDN: JJCROP. (In Russ).
2. Braginets A.V., Bakhchevnikov O.N., Khomenko P.A. Vliyanie fizicheskikh i khimicheskikh sposobov predposevnoi obrabotki semyan ozimoi pshenitsy na ee vegetatsiyu, urozhainost' i khimicheskii sostav zerna [The influence of physical and chemical methods of pre-sowing treatment of winter wheat seeds on its vegetation, yield and chemical composition of grain]. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2024; 1(37): 8-20. DOI: 10.5281/zenodo.10925091. EDN: AWLJSV. (In Russ).
3. Zavaliy A.A. et al. Tekhnologii i mashiny dlya fizicheskikh metodov vozdeistviya na pochvu, semena i rasteniya [Technologies and machines for physical methods of influence on soil, seeds and plants]. *Agricultural engineering*. 2021; 6(106): 11-19. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-6-11-19. EDN: ASCMRB. (In Russ).
4. Mitrofanov D.V. Sravnitel'naya otsenka urozhainosti zernovykh kul'tur v zavisimosti ot limitiruyushchikh faktorov v usloviyakh pochvozashchitnogo zemledeliya [Comparative assessment of grain crop yields depending on limiting factors in conditions of soil conservation agriculture]. *Agricultural Bulletin of the Ural*. 2024; 24(7): 870-884. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-870-884. EDN: VATHLM. (In Russ).
5. Martekha A.N., Toroptsev V.V. Vliyanie razlichnykh sposobov sushki na fiziko-mekhanicheskie svoystva i vskhozhest' semyan gorokha [The influence of different drying methods on the physical and mechanical properties and germination of pea seeds]. *Agricultural engineering*. 2024; 26(1): 65-72. DOI: 10.26897/2687-1149-2024-1-65-72. EDN: RPIKEU. (In Russ).
6. Kipriyanov F.A. et al. Prospects for the use of microwave energy in grain crop seeding. *Journal of Water and Land Development*. 2021; 49(4-6): 74-78. DOI: 10.24425/jwld.2021.137098. EDN: UJVZCF.
7. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Strakhov V.Yu. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy po otsenke effektivnosti primeneniya UF oblucheniya, SVCh obrabotki i iskusstvennogo osveshcheniya pri prorashchivaniy zerna pshenitsy i yachmenya na vitaminnyi korm [Results of experimental studies to assess the effectiveness of using UV irradiation, microwave processing and artificial lighting in the germination of wheat and barley grain for vitamin feed]. *Don agrarian science bulletin*. 2019; 2(46): 42-50. EDN: FDTBKS. (In Russ).
8. Budnikov D.A. Modelirovanie elektromagnitnogo polya v zernovom sloe razlichnoi plotnosti [Modeling of electromagnetic field in grain layer of different density]. *Don agrarian science bulletin*. 2018; 1(41): 40-45. EDN: YWEEDE. (In Russ).
9. Budnikov D.A. Opredelenie koeffitsienta dielektricheskikh poter' psevdoozhizhennogo sloya zerna [Determination of the dielectric loss coefficient of a fluidized bed of grain]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2017; 3(46): 66. EDN: ZWZEWV. (In Russ).
10. Budnikov D.A. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy faktora dielektricheskikh poter' zernovozdushnoi smesi [Results of experimental studies of the dielectric loss factor of grain-air mixture]. *Don agrarian science bulletin*. 2018; 3(43): 16-21. EDN: YOIHFI. (In Russ).
11. Cherkasova E.I., Golnitsky P.V., Antonova U.Yu. Primenenie SVCh energii dlya obezzarazhivaniya zernovoi produktsii [Application of microwave energy for disinfection of grain products]. *Selskiy Mehanizator*. 2024; (6): 21-23. DOI: 10.47336/0131-7393-2024-6-21-22-23. EDN: BWXNPE. (In Russ).
12. Titlov A. et al. Assessment of efficiency of drying grain materials using microwave heating. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019; 1(8-97): 78-85. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154527. EDN: FZOZWL.
13. Kakati B., Bora D., Bujarbarua S. An eco-friendly, pollution-free process for seed germination and plant yield. *AIP Conference Proceedings*. 2019; 020021. DOI: 10.1063/1.5096512. EDN: UCYJOT.
14. Alt V.V., Isakova S.P., Balushkina E.A. Vybór tekhnologii v rastenievodstve: podkhody i metody, primenyaemye v informatsionnykh sistemakh [Selection of technologies in plant growing: approaches and methods applied in information systems]. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2020; 15(1-57): 52-58. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-52-58. EDN: JAWJKV. (In Russ).
15. Chepik D.A., Kolesnikov A.V. Problemy material'no-tekhnicheskogo obespecheniya rastenievodstva [Problems of logistical support for plant growing]. *Zernobobovye*

i krupyanye kul'tury. 2022; 4(44): 24-31. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-24-31. EDN: SWUDZN. (In Russ).

16. Rifna E.J., Ratish Ramanan K., Mahendran R. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology*. 2019; (86): 95-108. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.02.029. EDN: DYHJAF.

17. Ganeev I. et al. Intensification of the drying process of small seed oilseeds using microwave electromagnetic radiation. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2020; 115(2): 261-271. DOI: 10.14720/aas.2020.115.2.1359. EDN: WKEKPS.

18. Budnikov D.A. Sistema upravleniya eksperimental'noi ustanovkoi elektrofizicheskogo vozdeistviya na zerno [Control system of the experimental setup for electrophysical impact on grain]. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2022; 17(2-66). С. 59-67. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-57-63. EDN: DNWNTY. (In Russ).

19. Isupov A. et al. Modeling the Trajectory of the Movement of Grain Material on the Surface of the Vibrating Chute. *Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology: Materials II International Conference*. 2023; (3011): 20016.

20. Belozerova S.V. Issledovanie konstruktivnykh parametrov SVCh-ustanovki dlya termoobrabotki zerna [Study of design parameters of microwave installation for heat treatment of grain]. Collection of scientific papers based on the materials of the III International scientific and practical conference «Science, education and business: a new view or a strategy for integration interaction». Nalchik: Izd-vo Kabardino-Balkarskii GAU; 2023: 430-434. EDN: GPSMSG. (In Russ).

21. Belozerova S.V. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy SVCh-ustanovki dlya obrabotki furazhnogo zerna [Results of experimental studies of microwave installation for processing feed grain]. Collection of scientific papers on the results of the V International scientific and practical conference «Advanced scientific achievements in the dairy industry». Vologda-Molochnoe: Izd-vo Vologodskaya GMKhA; 2023: 217-220. EDN: GLNFCC. (In Russ).

22. Savinykh P.A., Belozerova S.V. Vliyanie predposevnoi SVCh-obrabotki zernakachestvennyye pokazateli semennogo materiala [The influence of pre-sowing microwave treatment of grain on the quality indicators of seed material]. *Mezhdunarodnyi tekhniko-ekonomicheskii zhurnal*. 2022; (4): 100-108. DOI: 10.34286/1995-4646-2022-85-4-100-108. EDN: ZKANNE. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Белозерова С.В. – проведение экспериментальных исследований, написание исходного текста; итоговые выводы.

Савиных П.А. – научное руководство; концепция исследования; итоговые выводы.

Исупов А.Ю. – обработка материала; научное редактирование текста; доработка текста.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Belozerova, S.V. – carrying out experimental studies, writing the original text; final conclusions.

Savinykh, P.A. – scientific guidance; research concept; final conclusions.

Isupov, A.Yu. – processing of the material; scientific text editing; follow-up revision of the text.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

Информация об авторах

С.В. Белозерова – AuthorID 1059730.

П.А. Савиных – доктор технических наук, профессор; AuthorID 426517.

А.Ю. Исупов – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 761222.

Information about the authors

S.V. Belozerova – AuthorID 1059730.

P.A. Savinykh – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 426517.

A.U. Isupov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; AuthorID 761222.

Статья поступила в редакцию 03.10.2024; одобрена после рецензирования 31.10.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 03.10.2024; approved after reviewing 31.10.2024; accepted for publication 17.12.2024.

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 61–70

Vestnik Kurganskoj GSNA. 2024; (4-52): 61–70

Научная статья

УДК 631.171, 691.12

Код ВАК 4.3.2

EDN: XCYUCK

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ

Павел Владимирович Гуляев¹, Геннадий Владимирович Степанчук², Максим Юрьевич Попов³✉, Константин Константинович Пупенко⁴, Артем Владимирович Батраченко⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

¹ achgaa.el.mash@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6756-8006>

² g-stepanchuk@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3720-5902>

³ 19maxim95@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-5551-9422>

⁴ pupenko.k.k@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2718-0304>

⁵ batrachenko_00@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7851-8020>

Аннотация. В технологии выращивания полевых культур получают значительное количество пожнивных остатков или соломы, которые, как правило, измельчаются и вносятся в почву. Цель – обоснование параметров и режимов работы малогабаритной пресс-формы для изготовления конструкционных и теплоизоляционных материалов из пожнивных остатков сельскохозяйственного производства. Методика проведения исследований, описанная в статье, основана на качественном и количественном методах, заключающихся в проведении группы взаимосвязанных экспериментов, направленных на получение технологических параметров и зависимостей, необходимых как для проектирования, изготовления и эксплуатации исследуемой пресс-формы, так и для производства теплоизоляционных материалов с заданными параметрами. В статье представлены результаты шести комплексных экспериментальных исследований, направленных на определение гигроскопичности сухого соломенного сырья; энергетических затрат, необходимых для просушки неспрессованного материала; степени увлажненности спрессованного материала при различной степени прессования; удельных энергетических затрат для сушки спрессованного материала с разной степенью его прессования; времени охлаждения пресс-формы с материалом; горючести готового образца. Проведенные исследования позволяют определить энергетические затраты для изготовления из пожнивных остатков (соломы) конструкционных спрессованных листов (соломитов) и теплоизоляционных сыпучих материалов (эковаты). Установленные зависимости позволяют определять наиболее приемлемые технологические режимы и удельные соответствующие им энергетические затраты. Для изготовления 1 м² утеплительного материала толщиной 30 мм потребуются энергетические затраты от 11 до 16 кВт*ч, что соответствует удельным энергетическим затратам от 3,6 до 4,7 кВт*ч/кг. Дополнительные исследования приведенные авторами, подтверждают, что полученная по предлагаемым методикам продукция имеет класс горючести НГ 1 или Г1 и может быть использована, в качестве строительного конструкционного и утеплительного материала.

Ключевые слова: солома, пресс-форма, пожнивные остатки, теплоизоляционный материал, конструкционный материал, соломиты, эковата, прессование, сушка, электроподогрев.

Благодарности: авторы статьи выражают благодарность руководству Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» в г. Зернограде за предоставление материально-технической базы института для проведения научных исследований. Работа финансировалась за счет средств АНО «Агентство инноваций Ростовской области» при выполнении проекта «Разработка пресс-формы для изготовления конструкционных и теплоизоляционных материалов из пожнивных отходов сельскохозяйственного производства» в рамках коммерчески ориентированных научно-технических проектов молодых ученых «УМНИК».

Для цитирования: Гуляев П.В., Степанчук Г.В., Попов М.Ю., Пупенко К.К., Батраченко А.В. Результаты исследований параметров и режимов работы пресс-формы для изготовления конструкционных и строительных материалов из пожнивных остатков // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 61–70. EDN: XCYUCK.

Scientific article

RESEARCH RESULTS OF THE PARAMETERS AND OPERATING MODES OF THE MOLD FOR MANUFACTURING STRUCTURAL AND BUILDING MATERIALS FROM CROP RESIDUES

Pavel V. Gulyaev¹, Gennady V. Stepanchuk², Maxim Yu. Popov³✉, Konstantin K. Pupenko⁴, Artem V. Batrachenko⁵

¹ achgaa.el.mash@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6756-8006>

© Гуляев П.В., Степанчук Г.В., Попов М.Ю., Пупенко К.К., Батраченко А.В., 2024

² g-stepanchuk@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3720-5902>

³ 19maxim95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5551-9422>

⁴ pupenko.k.k@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2718-0304>

⁵ batrachenko_00@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7851-8020>

Abstract. In the technology of growing field crops, a significant amount of crop residues or straw is obtained, which, as a rule, are crushed and returned into the soil. The purpose is to substantiate the parameters and operating modes of a small-sized mold for manufacturing structural and thermal insulation materials using crop residues from agricultural production. The research methodology described in the article is based on qualitative and quantitative methods, which consist in conducting a group of interrelated experiments aimed at obtaining technological parameters and dependencies necessary for both the design, manufacture and operation of the mold under study, and for production of thermal insulation materials with specified parameters. The article presents the results of six comprehensive experimental studies aimed at determining the hygroscopicity of dry straw raw materials; the energy costs required to dry the uncompressed material; the degree of moisture content of the compressed material at different degrees of compression; the specific energy costs for drying the pressed material with different degrees of its compression; the cooling time of the mold with the material; the flammability of the finished sample. The conducted studies allow for determining the energy costs for manufacturing structural pressed sheets (solomits) and thermal insulation bulk materials (eco-wool) from crop residues (straw). The established dependencies make it possible to determine the most acceptable technological modes and specific energy costs corresponding to them. To produce 1 m² of insulation material with a thickness of 30 mm, it will be required energy costs from 11 to 16 kWh, which corresponds to specific energy costs from 3.6 to 4.7 kWh/kg. The additional studies provided by the authors confirm that the products obtained according to the proposed methods have a combustibility class NCG 1 or C1 and can be used as a building structural and insulation material.

Keywords: straw, mold, crop residues, thermal insulation material, structural material, solomit, eco-wool, pressing, drying, electric heating.

Acknowledgments: the authors of the article express their gratitude to the management of Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State University in the city of Zernograd for providing the material and technical base of the Institute for scientific research. The work was financed by the funds of the ANO Agency for Innovations of the Rostov Region' during the implementation of the project 'Development of a mold for manufacturing structural and thermal insulation materials using crop waste from agricultural production' within the framework of commercially oriented scientific and technical projects of young scientists 'UMNIK'.

For citation: Gulyaev P.V., Stepanchuk G.V., Popov M.Yu., Pupenko K.K., Batrachenko A.V. Research results of the parameters and operating modes of the mold for manufacturing structural and building materials from crop residues. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2024; (4-52): 61–70. EDN: XCYUCK. (In Russ).

Введение. При выращивании полевых культур, таких как пшеница, ячмень, рожь, рис, кукуруза и других, остается значительное количество пожнивных остатков – соломы. Часть этих остатков мульчируется и вносится в почву, тем самым повышается её плодородие и способность к влагоудержанию [1]. В процессе органического разложения соломы в почве бактериями и грибами не вся она превращается в удобрение. Значительная часть органических соединений распадается до атомарного азота, углекислого газа и других газов, выделяющихся в атмосферу, а также влаги, вымывающей часть водорастворимых соединений в почву.

Однако эффективность применения такого ценного продукта, как солома, может быть значительно повышена, если из нее изготавливать экологические теплоизоляционные и конструкционные материалы, которые возможно использовать при строительстве жилых, производственных зданий и сооружений [2].

С давних времен солома использовалась людьми для изготовления и утепления жилищ. Яркими примерами являются саман и глинобитные конструкции. В них огнеупорным, склеивающим и антисептическим составом является глина. В настоящее время в индустриально развитых регионах данные материалы перестали использоваться из-за их недостатков, таких как гигроскопичность, аллергенность, низкая прочность и потеря формы в случае намокания. Это сырье заменено синтетическими теплоизоляционными материалами, такими как пенополистирол, пенополиуретан,

пеноизол, минеральная вата, стекловата, базальтовая вата, целлюлозная эковата и др. [1].

Однако появление современных синтетических клеевых материалов позволяет взглянуть на применение соломы в качестве теплоизоляционных и конструкционных материалов под другим углом [3–4].

Целью исследований являлось обоснование параметров и режимов работы пресс-формы для изготовления конструкционных и теплоизоляционных материалов из пожнивных остатков сельскохозяйственного производства.

Для решения поставленной цели было необходимо провести экспериментальные исследования энергетических и технологических параметров физической модели пресс-формы и характеристик продукции.

Материалы и методы. В статье рассмотрены возможности применения пожнивных остатков для производства конструкционных и теплоизоляционных композитов [5; 6]. В разработанных технологических схемах производства предлагается использовать в качестве гидрофобного и антисептического состава следующие клеевые составы: полиуретановую или фенолформальдегидную смолу, специальный клеевой состав, состоящий из водного щелочного раствора силикатов натрия $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, калия $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, а также нелетучих антисептических и огнеупорных веществ, в качестве которых используется применяется борная кислота и бура [7; 8].

Методика проведения экспериментальных исследований заключалась в следующем. Пожнив-

ные остатки сельскохозяйственного производства (солома, получаемая в результате выращивания злаковых культур), использующиеся в качестве исходного сырья механически измельчались при помощи дробилки до требуемых размеров фракций (до нескольких сантиметров при изготовлении эковаты), или не измельчались при изготовлении соломитовых плит. Затем полученный материал пропитывался специальными водноклеевыми составами, включающими антипиренные и антисептические добавки, представляющие собой смесь водного щелочного раствора в соотношении 82 % воды, 10 % силикатов натрия, 2 % борной кислоты, 1 % буры, 2 % медного купороса и 3 % модифицированного крахмала. При изготовлении эковаты в смесь добавлялись вспомогательные компоненты, представляющие собой измельченную макулатуру (в соотношении 80 % соломенного сырья и 20 % макулатуры). Затем при помощи предлагаемой конструкции пресс-формы из предварительно пропитанного материала путем прессования удалялся избыточный водноклеевой раствор, который возвращался обратно для пропитки следующей партии материала, а материалу придавалась форма плит с различными плотностями, которые достигались разными степенями прессования (от 50 до 650 кг/м³). После формирования плиты и максимального отжима влаги и клея, при помощи электрического нагрева, поверхности пресс-формы нагревались до различных температур в соответствии с планом эксперимента (от 50 до 150 °С). В результате нагрева изготавливаемая теплоизоляционная плита (соломитовая плита) просушивалась и склеивалась. После этого пресс-форма остывала и расформовывалась [9; 10].

В процессе проведенных экспериментальных исследований определялись оптимальные температурные режимы, пресс-формы, необходимое время сушки соломитовой плиты и удельные энергетические затраты при производстве [11–13].

Исследуемая пресс-форма может быть использована не только для изготовления соломитовых плит, но и при изготовлении сыпного теплоизоляционного материала – эковаты. Были проведены экспериментальные исследования по ее производству. Технология схожа с технологией производства соломитовых плит, за исключением того, что при изготовлении эковаты готовая просушенная соломитовая плита дробилась и диспергировалась до состояния ватоподобного сыпучего вещества с размерами фракций от 0,5 до 2 мм. При проведении эксперименталь-

ных исследований определялись необходимые энергетические затраты, оптимальная температура нагрева поверхностей пресс-формы и продолжительность сушки [14; 15].

В процессе исследований определялся важнейший параметр готовой продукции – горючесть по ГОСТ 30244-94 (Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть).

Все исследования проводились на базе научно-исследовательских и учебно-производственных лабораторий кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин» Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», г. Зерноград.

Результаты исследований и их обсуждение. В статье приведены результаты шести экспериментальных исследований, позволяющие определить ориентировочные энергетические характеристики малогабаритной экспериментальной пресс-формы в различных режимах работы, предназначенной для изготовления теплоизоляционных соломитовых плит, пропитанных специальным клеевым составом в виде водного щелочного раствора силикатов натрия $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, борной кислоты (тетрабората натрия), модифицированного крахмала и других добавок. Проведенные исследования направлены на определение степени горючести готового материала, произведенного по предлагаемой технологии.

Определение гигроскопичности сухого соломенного сырья (первый эксперимент).

Задача эксперимента: определение количества влаги, удерживаемой измельченным соломенным сырьём, пропитанным специальным клеевым составом.

Используемые данные для проведения эксперимента:

M_n – масса исходного сухого соломенного сырья, 3 кг;

W_n – начальная влажность соломенного сырья, < 20 %;

M_k – масса конечного пропитанного клеевым составом сырья, 10 кг;

T_n – время полной пропитки и набухания материала – 1 час,

T_c – время полного стекания водо-клеевого состава из сырья, 1 час.

Отжим и прессовка материала отсутствует.

Полученные результаты первого экспериментального исследования позволяют сделать вывод, что сухое измельченное соломенное волокно может впитать в себя в 3,3 раза больше влаги, чем его масса в воздушно-сухом состоянии, и может удерживать влагу после её стекания длительное время.

Определение энергетических затрат, необходимых для просушки неспрессованного материала (второй эксперимент).

Задача эксперимента: определение энергетических затрат и времени просушки обрабатываемого материала в зависимости от температуры нагрева пресс-формы.

Исходные данные для эксперимента:

M_n – масса исходного увлажненного пропитанного клеевым составом сырья, 10 кг;

M_k – масса конечного высохшего пропитанного клеевым составом продукта, 3 кг.

Сушка производилась с помощью электронного нагревателя формы от регулируемого источника переменного напряжения.

Анализ графика, приведенного на рисунке 1,

позволяет сделать вывод, что с увеличением температуры нагрева материала скорость его просушки практически линейно уменьшается. Так, при температуре нагрева материала 50 °С время полной просушки составило полтора суток (или 36 часов), а при температуре нагрева материала до 150 °С время сушки составило всего 3 часа, при этом энергетические затраты в том и в другом режиме сушки достигли около 18кВт*ч.

Этого количества энергии хватило, чтобы испарить из 10 кг пропитанного исходного материала 7 кг влаги.

Анализ графика, приведенного на рисунке 2, позволяет определить время сушки материала в зависимости от мощности потребляемой пресс-формой. В случае, если процесс производства

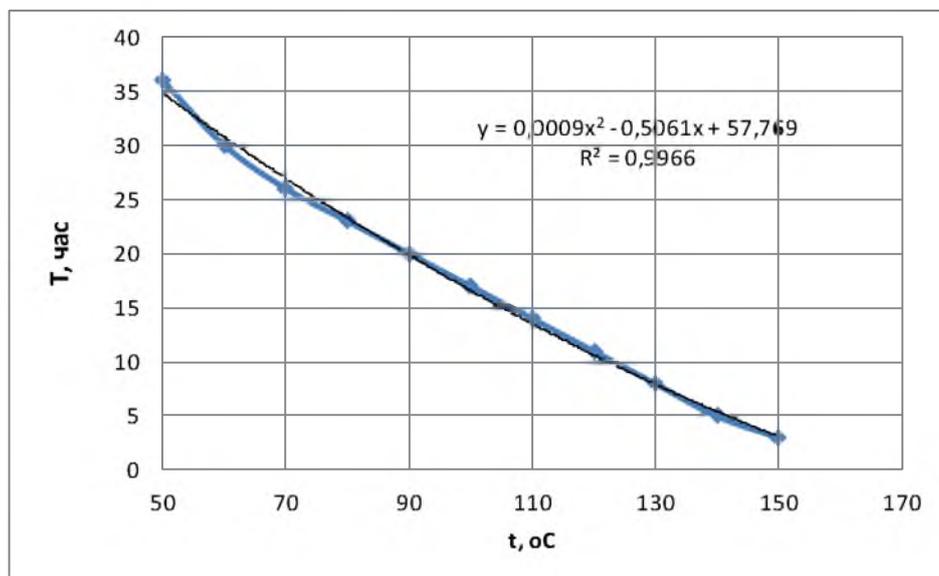


Рисунок 1 – График экспериментальной зависимости времени сушки неспрессованного материала от температуры нагрева

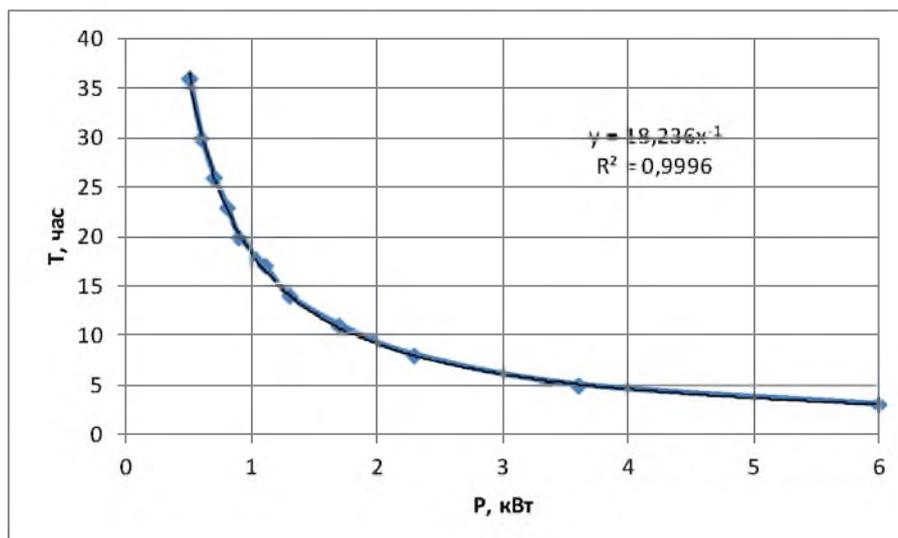


Рисунок 2 – График экспериментальной зависимости времени сушки материала от потребляемой мощности

не ограничен временными рамками и позволяет сушить материал в течение 36 часов, то мощность, потребляемую пресс формой, можно снизить до 0,5 кВт. При этом нагрузка на сеть будет минимальной. Если же необходимо минимальное время сушки (3 часа), то мощность, потребляемая из сети, составит 6 кВт. Если технологический процесс позволяет сушить материал в течение 15...17 часов, то целесообразно поддерживать температуру пресс-формы в пределах 90...110°C, при этом мощность, потребляемая установкой, составит 0,9...1,2 кВт.

Определение степени увлажненности спрессованного материала при разной степени прессования (третий эксперимент).

Задача эксперимента: определение влияния степени холодной прессовки материала на массу водноклеевого состава, впитанного соломой.

Исходные данные для эксперимента:

пропорция водно-клеевого состава 1/10 (1 часть натриевого жидкого стекла по ГОСТ 13078-2021 / 10 частей воды/ 0,1 часть тетрабората натрия);

M_n – масса исходного увлажненного, пропитанного клеевым составом сырья, 10 кг;

M_k – масса конечного, высохшего пропитанного клеевым составом продукта, 3 кг;

Степень прессования материала зависит от плотности готовой продукции и колебалась в диапазоне от 70 до 650 кг/м³.

Непрессованная солома – $\rho = 50$ кг/м³.

Максимально спрессованная солома – $\rho = 650$ кг/м³.

Анализ графика (рисунок 3) позволяет сделать вывод, что с увеличением степени прессования материала остаточная масса водноклеевого состава в материале снижается, но не пропорциональ-

но. От начальной степени прессования 70 кг/м³ до степени прессования соответствующей плотности 200 кг/м³ можно отжать до 30 % водноклеевого раствора от его первоначальной массы. Однако дальнейшее прессование от плотности 200 кг/м³ до 650 кг/м³ позволяет дополнительно отжать лишь 11 % от начальной массы водноклеевого состава, а при плотности от 600 кг/м³ – до 650 кг/м³, можно отжать только 0,3 % от массы.

Полученные результаты позволяют предположить, что дальнейшая прессовка без сушки не позволит отжать больше влаги. Тем не менее увеличение степени прессования позволит снизить энергетические затраты на сушку.

Определение удельных энергетических затрат необходимых для сушки спрессованного материала с разной степенью прессования (четвертый эксперимент).

Задача эксперимента: определение удельных энергетических затрат и время сушки обрабатываемого материала в зависимости от температуры нагрева пресс-формы.

Анализ графика, приведенного на рисунке 4, позволяет сделать вывод, что увеличение степени прессования материала приводит к снижению удельных энергетических затрат на просушку, поскольку нет необходимости тратить дополнительную энергию на испарение влаги, которая может быть удалена механически. Однако это снижение не линейно и при увеличении плотности прессования с 50 до 650 кг/м³ (в 13 раз), сокращение энергопотребления происходит всего в 1,7 раза. Это связано с тем, что уменьшение исходной массы происходит всего в 1,69 раза, а увеличение степени прессования приводит к ухудшению испарения влаги из толщи материала.

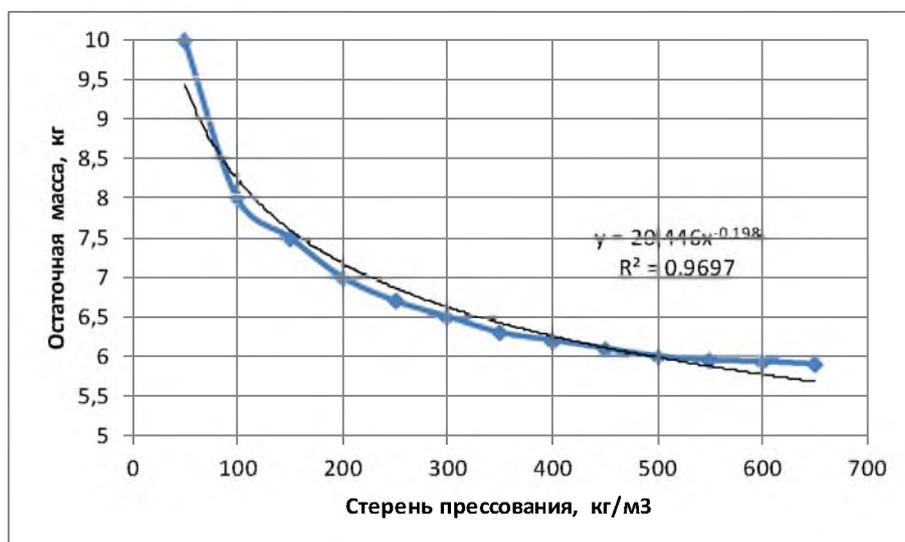


Рисунок 3 – График экспериментальной зависимости остаточной массы пропитанного клеем материала от степени прессования

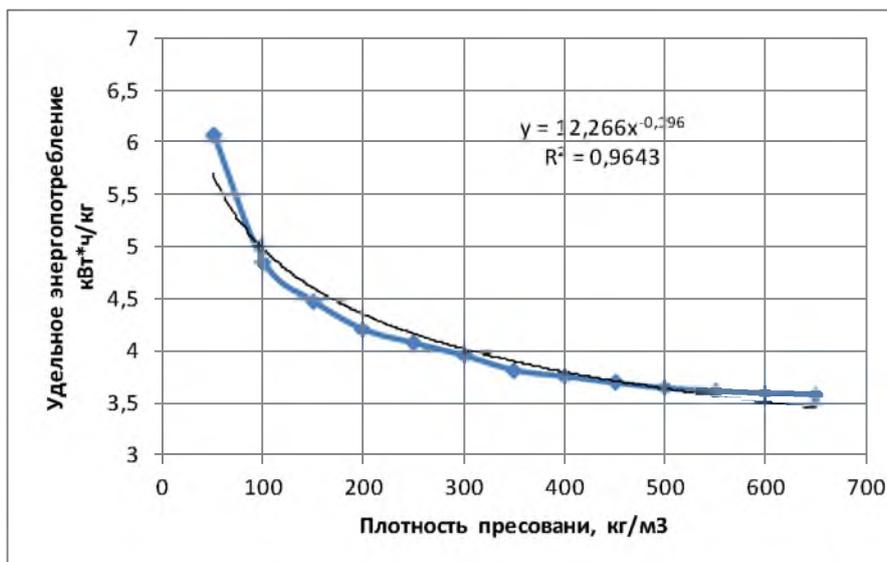


Рисунок 4 – График экспериментальной зависимости удельного энергопотребления пресс-формы от плотности прессования

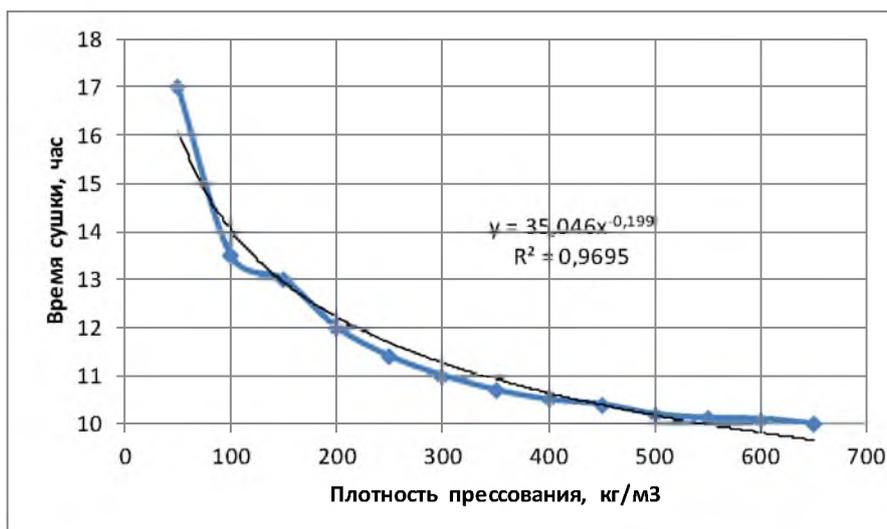


Рисунок 5 – График экспериментальной зависимости времени сушки от плотности прессования при температуре сушки 100 °C

Анализ графика, приведенного на рисунке 5, позволяет сделать вывод, что увеличение степени прессования материала приводит не только к снижению удельных энергетических затрат на просушку, но и к сокращению времени сушки, причем это снижение также пропорционально снижению влажности, то есть в 1,7 раза.

Определение времени охлаждения пресс-формы с материалом (пятый эксперимент).

Задача эксперимента: определение времени естественного охлаждения пресс-формы с материалом до температуры, приемлемой для расформовки и перезаправки.

В результате было установлено (рисунок 6), что при температуре окружающей среды 20 °C пресс-форма будет остывать в течение двух ча-

сов (с температуры 100 °C до температуры 50 °C), что связано с большой теплоаккумулирующей способностью как пресс-формы, так и самого материала. При таком температурном режиме расформовку можно будет производить через 2 часа. Для ускорения времени охлаждения необходимо использовать принудительное охлаждение пресс-формы.

Определение горючести готового образца материала (шестой эксперимент).

Задача эксперимента: определение возможности возгорания готового материала под воздействием источника открытого пламени с температурой не ниже 1500 °C и вероятности поддержания горения после снятия пламени.

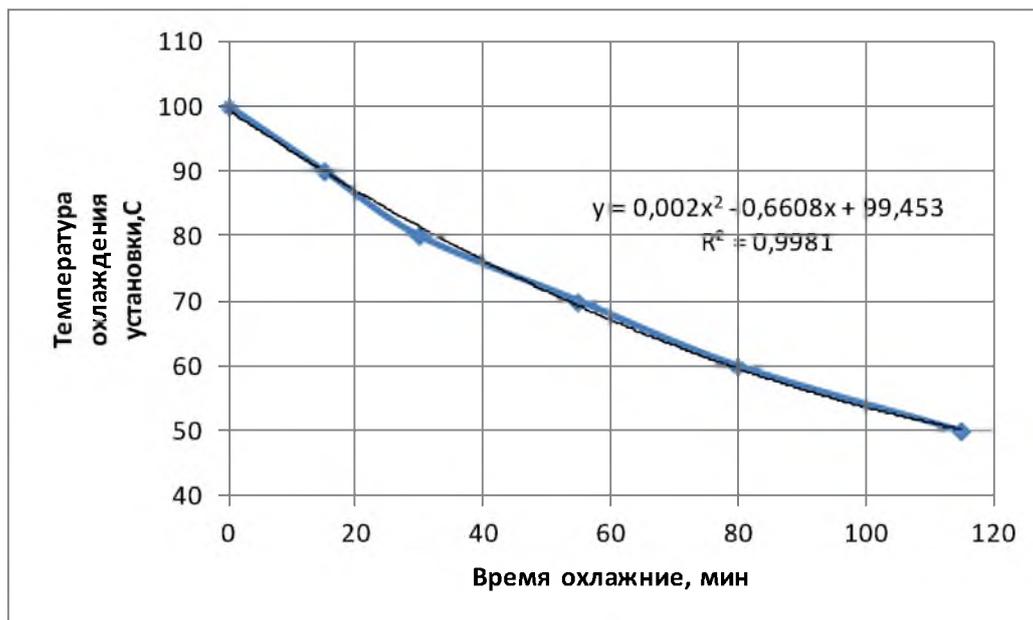


Рисунок 6 – График экспериментальной зависимости времени охлаждения пресс-формы от 100 °С до 50 °С



Рисунок 7 – Испытание на горючесть образца материала

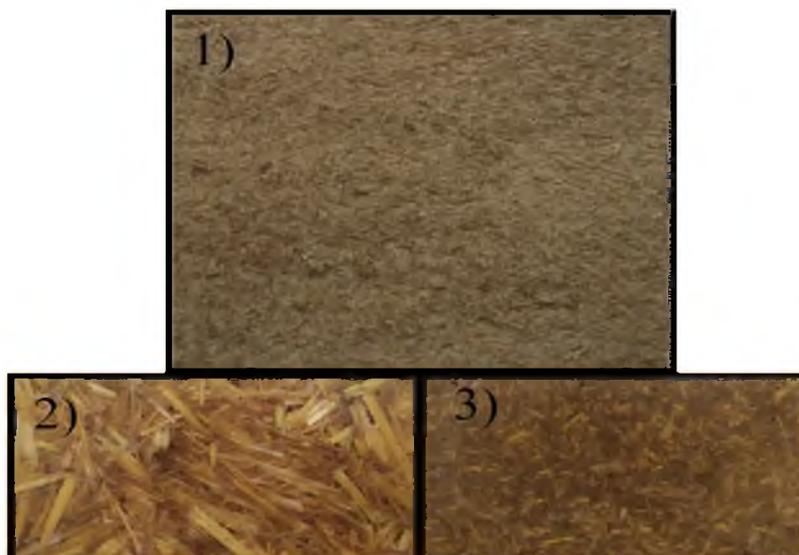


Рисунок 8 – Внешний вид образцов готовых утеплительных листов из соломы

В результате проведенного испытания на горючесть (рисунок 7) было определено, что произведенный по описанной ранее технологии материал является не горючим и соответствует классу НГ2 (практически негорючие), который показал слабое кратковременное горение (до 20 с), а теплота сгорания не превышала 3,0 Мдж/кг, (соломитовые плиты), и классу Г1 (слабогорючие) – эковата. Такие материалы прекращают горение сразу же после исключения источника пламени, сами по себе не горят, а при проведении испытаний теряют не более 65 % своей первоначальной длины и не более 20 % первоначальной массы, при этом температура возникающего дыма не превышает 135 °С (ГОСТ 30244).

На рисунке 8 показаны образцы теплоизоляционных плит, изготовленных из соломы, пропитанных антисептическими и антипиренными составами.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать общий вывод о том, что использование пожнивных остатков (соломы) в качестве конструкционного и утеплительного материала не только возможно, но и целесообразно. Предложенные технологии производства позволяют изготавливать из пожнивных остатков соломитовые теплоизоляционные плиты и сыпной теплоизоляционный материал – эковату. Из результатов проведенных экспериментальных исследований установлено, что для изготовления 1 м² утеплительного материала толщиной 30 мм потребуются энергетические затраты от 11 до 16 кВт*ч, что соответствует удельным энергетическим затратам от 3,6 до 4,7 кВт*ч/кг. Выявлено, что плотность прессовки материала оказывает значительное влияние на время сушки и на энергетические затраты. Увеличение степени прессования материала приводит к сокращению не только энергетических затрат на просушку, но и времени сушки, причем это снижение пропорционально уменьшению влажности в 1,7 раз. Полученная продукция имеет класс горючести НГ или Г1 и может быть использована в качестве строительного конструкционного и утеплительного материала. Данный материал будет экологичным, поскольку при его нагревании из него не выделяются токсичные пары фенолформальдегида и других растворителей.

Список источников

1. Дерево как строительный материал: проблемы и перспективы использования / В.В. Зозуля [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 2. С. 67-71. EDN: YTCECW.

2. Кузьмин А.М. Обоснование технологий и технических средств для производства конструкционных композитов на основе отходов агропромышленного комплекса: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01: утв. 17.12.2015. Саранск, 2015. 214 с. EDN: VYCTLM.

3. Разработка теплоизоляционных смесей для прибылей стальных отливок с применением фосфатборатов / И.Е. Илларионов [и др.] // Черные металлы. 2020. № 7. С. 28-33. EDN: YSDZYU.

4. Влияние борной кислоты на физико-механические характеристики теплоизоляционных смесей / И.Е. Илларионов [и др.] // Литейное производство. 2019. № 4. С. 19-21. EDN: ZDBQKD.

5. Cicelsky A., Meir I.A., Peled A. Novel insulating construction blocks of crop residue (straw) and natural binders // MRS Energy & Sustainability. 2024. Vol. 11. No. 1. P. 92-106. DOI: 10.1557/s43581-023-00075-x. EDN: EBJPFO.

6. Experimental investigation on mechanical properties and fire performance of innovative wheat straw-gypsum composites as building sheathing panels / T. Wu [et al.] // Industrial Crops and Products. 2024. Vol. 208. P. 117897. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117897. EDN: MCWVGF.

7. Erkmen J., Yakut R., Hamamcı B., Aytuğ R. Özer Production of insulation material using styrene acrylic resin from animal and agricultural waste part 1. Thermal insulation and water absorption // Energy and Buildings. 2024. Vol. 303. P. 113817. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113817. EDN: RGBQBF.

8. Experimental research on the physical and mechanical properties of rice straw-rice straw ash composite materials / R. Kumar [et al.] // International Journal on Interactive Design and Manufacturing. 2024. Vol. 18. No. 2. P. 721-731. DOI: 10.1007/s12008-024-01741-1. EDN: NKCHIA.

9. Khalife E., Sabouri M., Kaveh M., Szymanek M. Recent Advances in the Application of Agricultural Waste in Construction // Applied Sciences (Switzerland). 2024. Vol. 14. No. 6. P. 2355. DOI: 10.3390/app14062355. EDN: TASTBQ.

10. Установка для производства формованных изделий из волокнистых материалов: пат. 49536 U1 Рос. Федерация, МПК D21J 7/00. № 2005116278/22 / Мартынов В.Н., Ланьков А.Э., Мартынов С.Н.; заявл. 30.05.2005; опубл. 27.11.2005. EDN: ZXPSCD.

11. Перспективы применения промышленных отходов для повышения долговечности и огнеупорности жаростойких бетонов / С.В. Соколова [и др.] // Строительство и реконструкция. 2023. № 2 (106). С. 123-133. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133. EDN: ANWWDP.

12. Гуляев А.А. Обоснование параметров и режимов работы машины для переработки соломистой части урожая колосовых культур: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. М., 2022. 196 с. EDN: LKPXRM.

13. Изменение влажности продуктов механохимической обработки из растительного сырья при хранении / А.Л. Бычков [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 8. С. 5-9. EDN: WKTZQR.

14. Эффективное использование сухих пенообразователей при изготовлении пеногипсовых теплоизоляционных наноконструкций / Р.И. Шигапов [и др.] // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2022. Т. 14. № 4. С. 274-281. DOI: 10.15828/2075-8545-2022-14-4-274-281. EDN: JCWFQC.

15. Влияние борной кислоты на свойства теплоизоляционных смесей / И.Е. Илларионов [и др.] // Литейное производство. 2019. № 1. С. 24-26. EDN: YSGYCL.

References

1. Zozulya V.V. et al. Derevo kak stroitel'nyi material: problemy i perspektivy ispol'zovaniya [Wood as a building material: problems and prospects of use]. *Industrial and civil engineering*. 2018; (2): 67-71. EDN: YTCECW. (In Russ).
2. Kuzmin A.M. Obosnovanie tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv dlya proizvodstva konstruksionnykh kompozitov na osnove otkhodov agropromyshlennogo kompleksa [Justification of technologies and technical means for the production of structural composites based on waste from the agro-industrial complex]. [Dissertation]. Saransk ; 2015: 214. EDN: VYCTLM. (In Russ).
3. Illarionov I.E. et al. Razrabotka teploizolyatsionnykh smesei dlya pribylei stal'nykh otlivok s primeneniem fosfatboratov [Development of thermal insulation mixtures for steel casting risers using phosphate borates]. *Chernye metally*. 2020; (7): 28-33. EDN: YSDZYU. (In Russ).
4. Illarionov I.E. et al. Vliyanie bornoj kisloty na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki teploizolyatsionnykh smesei [The influence of boric acid on the physical and mechanical characteristics of thermal insulation mixtures]. *Foundry. Technology and equipment*. 2019; (4): 19-21. EDN: ZDBQKD. (In Russ).
5. Cicelsky A., Meir I.A., Peled A. Novel insulating construction blocks of crop residue (straw) and natural binders. *MRS Energy & Sustainability*. 2024; 11(1): 92-106. DOI: 10.1557/s43581-023-00075-x. EDN: EBJPFO.
6. Wu T. et al. Experimental investigation on mechanical properties and fire performance of innovative wheat straw-gypsum composites as building sheathing panels. *Industrial Crops and Products*. 2024; (208): 117897. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117897. EDN: MCWWGF.
7. Erkmen J., Yakut R., Hamamcı B., Aytuğ R., Özer Production of insulation material using styrene acrylic resin from animal and agricultural waste part 1. Thermal insulation and water absorption. *Energy and Buildings*. 2024; (303): 113817. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113817. EDN: RGBQBF.
8. Kumar R. et al. Experimental research on the physical and mechanical properties of rice straw-rice straw ash composite materials. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. 2024; 18(2): 721-731. DOI: 10.1007/s12008-024-01741-1. EDN: NKCHIA.
9. Khalife E., Sabouri M., Kaveh M., Szymanek M. Recent Advances in the Application of Agricultural Waste in Construction. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024; 14(6): 2355. DOI: 10.3390/app14062355. EDN: TASTBQ.
10. Ustanovka dlya proizvodstva formovannykh izdelii iz voloknistykh materialov [Installation for the production of molded products from fibrous materials]: Pat. 49536 U1 Rus. Federation. No 2005116278/22 / Martynov V.N., Lankov A.E., Martynov S.N.; dec. 30 May 2005; publ. 27 November 2005. EDN: ZXPSCD. (In Russ).
11. Sokolova S.V. et al. Perspektivy primeneniya promyshlennykh otkhodov dlya povysheniya dolgovechnosti i ogneupornosti zharostoikikh betonov [Prospects for the use of industrial waste to improve the durability and fire resistance of heat-resistant concrete]. *Building and reconstruction*. 2023; 2(106): 123-133. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133. EDN: ANWVDP. (In Russ).
12. Gulyaev A.A. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty mashiny dlya pererabotki solomistoj chasti urozhaya kolosovykh kul'tur [Justification of the parameters and operating modes of the machine for processing the straw part of the harvest of cereal crops]. [Dissertation]. Moscow; 2022: 196. EDN: LKPXRM. (In Russ).
13. Bychkov A.L. et al. Izmenenie vlazhnosti produktov mekhanokhimicheskoi obrabotki iz rastitel'nogo syr'ya pri khranении [Changes in the humidity of mechanochemically processed plant materials during storage]. *Storage and Processing of Farm Products*. 2016; (8): 5-9. EDN: WKTZQR. (In Russ).

14. Shigapov R.I. et al. Effektivnoe ispol'zovanie sukhikh penoobrazovatelei pri izgotovlenii penogipsovykh teploizolyatsionnykh nanokompozitsii [Effective use of dry foaming agents in the manufacture of foam gypsum thermal insulation nanocomposites]. *Nanotechnologies in construction: a scientific internet-journal*. 2022; 14(4): 274-281. DOI: 10.15828/2075-8545-2022-14-4-274-281. EDN: JCWFCQ. (In Russ).

15. Illarionov I.E. et al. Vliyanie bornoj kisloty na svoystva teploizolyatsionnykh smesei [The influence of boric acid on the properties of thermal insulation mixtures]. *Foundry. Technology and equipment*. 2019; (1): 24-26. EDN: YSGYCL. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Гуляев П.В. – научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, итоговые выводы.

Степанчук Г.В. – написание исходного текста, научное редактирование текста, итоговые выводы.

Попов М.Ю. – сбор материала, обработка материала, написание статьи, итоговые выводы.

Пупенко К.К. – математическая обработка экспериментальных исследований, доработка текста, итоговые выводы.

Батраченко А.В. – участие в проведении экспериментальных исследований, итоговые выводы.

AUTHOR CONTRIBUTION

Gulyaev, P.V. – scientific guidance; research concept; development of methodology, final conclusions.

Stepanchuk, G.V. – writing the original text, scientific editing of the text, final conclusions.

Popov, M.Yu. – collecting material, processing material, writing an article, final conclusions.

Pupenko, K.K. – mathematical processing of experimental studies, revision of the text, final conclusions.

Batrachenko, A.V. – participation in experimental research, final conclusions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

Информация об авторах

П.В. Гуляев – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 305831.

Г.В. Степанчук – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 443229.

М.Ю. Попов – кандидат технических наук; AuthorID 1063389.

К.К. Пупенко – AuthorID 988438.

А.В. Батраченко – AuthorID 1266234.

Information about the authors

P.V. Gulyaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; AuthorID 305831.

G.V. Stepanchuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; AuthorID 443229.

M.Yu. Popov – Candidate of Technical Sciences; AuthorID 1063389.

K.K. Pupenko – AuthorID 988438.

A.V. Batrachenko – AuthorID 1266234.

Статья поступила в редакцию 15.10.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 17.12.2024.

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 71–79

Vestnik Kurganskoj GSNA. 2024; (4-52): 71–79

Научная статья

УДК 631.363.7

Код ВАК 4.3.1

EDN: YBDYVZ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СМЕСИТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНЫМ ШНЕКОМ

Максим Александрович Фомичев^{1✉}, Валерий Геннадьевич Игнатенков², Алексей Владимирович Алешкин³, Владимир Васильевич Морозов⁴

^{1, 2, 4} Великолукская государственная сельскохозяйственная академия», Великие Луки, Россия

³ Вятский государственный университет, Киров, Россия

¹ fomichev1995@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-1003-8091>

² well_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-7750>

³ usr00008@vyatsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6949-1480>

⁴ sovetnik@vgsa.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2697-2249>

Аннотация. Цель исследования – улучшение технологического процесса перемешивания корма, состоящего из сапропеля естественной влажности (относительная влажность около 90 %) и комбикорма. При внесении сапропеля сразу после его добычи в состав комбикорма из технологической линии исключается дорогостоящая и длительная операция обезвоживания сапропеля. Сапропель – это донные природные отложения пресноводных водоёмов, богатые минеральными веществами и витаминами. Замена части дорогостоящего комбикорма (до 6 %) позволит добиться повышения эффективности его производства. В то же время специфические физико-механические свойства сапропеля вносят корректировки в конструктивные параметры и режимы работы смесителей. Правильный выбор типа смесителя для сапропеля и комбикорма, непрерывное, равномерное и дозированное внесение этого жидкого компонента в общую среду продукта во многом и определит такие выходные данные агрегата, как его производительность, затрачиваемая мощность и однородность корма перед скормливанием поголовью сельскохозяйственных животных. Для изучения технологического процесса смешивания сапропеля естественной влажности с комбикормом разработали, изготовили и провели экспериментальные исследования горизонтального смесителя с ленточным шнеком с новой системой распыления. Обоснованы рациональные конструктивно-технологические параметры смесителя. При различных вариациях факторов исследовалось их влияние на следующие критерии оптимизации: однородность корма, энергозатраты на процесс смешивания и пропускную способность смесителя. После обработки полученных экспериментальных данных изложены соответствующие рекомендации по выбору конструктивно-технических параметров агрегата для смешивания сапропеля и комбикорма, а также режимы его работы при различных условиях загрузки. Обоснованы конструктивно-технологические особенности горизонтального смесителя с ленточным шнеком для смешивания сапропеля естественной влажности с комбикормом, позволяющие добиться повышения эффективности производства кормосмесей для сельскохозяйственных животных, с сохранением высокого качества и снижением экономических затрат на обезвоживание сапропеля известными технологическими средствами.

Ключевые слова: корм, комбикорм, сапропель, ленточный шнек, инжекторы, система распыления.

Благодарности: работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия». Дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Для цитирования: Фомичев М.А., Игнатенков В.Г., Алешкин А.В., Морозов В.В. Результаты экспериментальных исследований работы горизонтального смесителя с ленточным шнеком // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 71–70. EDN: YBDYVZ.

Scientific article

RESULTS OF THE EXPERIMENTAL STUDIES OF THE OPERATION OF THE HORIZONTAL MIXER WITH A BELT AUGER

Maksim A. Fomichev^{1✉}, Valerij G. Ignatenkov², Alexey V. Aleshkin³, Vladimir V. Morozov⁴

^{1, 2, 4} State Agricultural Academy of Velikie Luki, Velikie Luki, Russia

³ Vyatka State University, Kirov, Russia

Abstract. The purpose of the study is to improve the technological process of mixing feed consisting of sapropel of natural humidity (relative humidity about 90 %) and combined fodder. When sapropel is introduced immediately after its extraction into combined fodder, an expensive and lengthy sapropel dehydration is excluded from the production line. Sapropel is a natural bottom sediment of freshwater bodies, rich in minerals and vitamins. The replacement of part of expensive combined fodder (up to 6%) will make it possible to increase the efficiency of its production. At the same time, the specific physical and mechanical properties of sapropel make adjustments to the design parameters and operating modes of the mixers. The correct choice of the mixer type for sapropel and combined fodder, continuous, uniform and dosed introduction of this liquid component into the general product environment will largely determine such output data of the unit as its productivity, power consumption and

© Фомичев М.А., Игнатенков В.Г., Алешкин А.В., Морозов В.В., 2024

feed uniformity before feeding it to the livestock. To study the technological process of mixing sapropel of natural humidity with combined fodder, a horizontal mixer with a belt auger with a new spray system was developed, manufactured and its experimental studies were conducted. The rational design and technological parameters of the mixer are substantiated. With various factor variations, their influence on the following optimization criteria was studied: feed uniformity, energy consumption for the mixing process and mixer throughput. After processing the experimental data obtained, the appropriate recommendations are given on the choice of design and technical parameters of the unit for mixing sapropel and combined fodder, as well as its operating modes under various loading conditions. The design and technological features of the horizontal mixer with a belt auger for mixing sapropel of natural humidity with combined fodder are substantiated, which make it possible to increase the efficiency of feed mixture production for farm animals, while maintaining high quality and reducing the economic costs of sapropel dehydration by known technological means.

Keywords: feed, combined fodder, sapropel, belt auger, injectors, spray system.

Acknowledgments: the work was funded from the budget of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'State Agricultural Academy of Velikiye Luki'. No additional grants have been received to conduct or direct this particular study.

For citation: Fomichev M.A., Ignatenkov V.G., Aleshkin A.V., Morozov V.V. Results of the experimental studies of the operation of the horizontal mixer with a belt auger. Vestnik Kurganskoj GSHA. 2024; (4-52): 71–79. EDN: YBDYVZ (In Russ).

Введение. Обеспечение населения РФ продуктами питания, основными из которых являются мясо, молоко и яйца остаётся актуальной задачей, имеющей стратегическую важность в непростой политической ситуации. По данным Росстата в настоящее время наблюдается рост динамики производства свинины, снижается импорт мяса птицы, имеются предпосылки к увеличению производства говядины. Для сохранения высоких темпов роста выпуска продукции по основным направлениям животноводства следует сократить промышленные затраты и использовать при производстве кормов природные источники местных сырьевых ресурсов.

Одним из маловостребованных источников сырья, особенно в Северо-Западном регионе РФ, богатым биологически активными элементами и минеральными веществами, является сапропель – донное отложение пресноводных водоёмов [1–3].

Наиболее трудоёмкой и экономически затратной операцией в технологии производства кормов с добавлением сапропеля является его обезвоживание. Для этого пользуются различные машины: центрифуги, прессы, отстойники, фильтры. За счет использования обезвоживания сапропеля значительно возрастает время производства кормов и повышаются энергозатраты [4].

Разработанная авторами технология распыления позволяет вносить сапропель естественной влажности в состав комбикорма и смешивать все компоненты горизонтальным смесителем с ленточным шнеком для достижения соответствия необходимых зоотехнических требований по однородности получаемого корма.

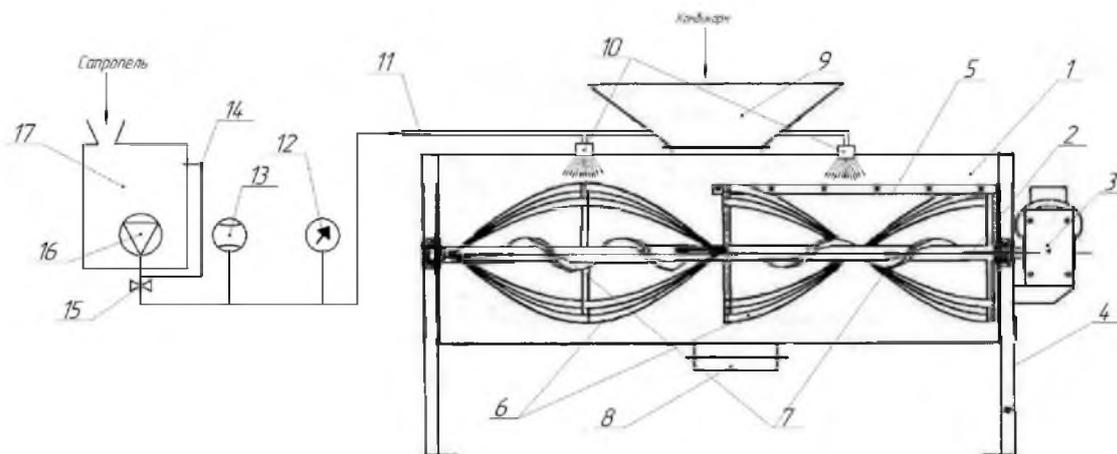
Оптимизация технологической линии производства кормов с добавлением сапропеля позволит получить продукцию высокого качества и снизить его себестоимость [5; 6]. Обоснование конструктивно-технологических параметров агрегата для смешивания сапропеля и комбикорма, а также проверка теоретических гипотез через многофак-

торные эксперименты определит рациональные характеристики и режимы работы исследуемого смесителя [7–9].

Материалы и методы. С целью производства кормов, включающих местные источники сырья, была разработана и испытана на базе ФГБОУ ВО «Великолукская ГСХА» экспериментальная установка – горизонтальный смеситель с ленточным шнеком с системой распыления сапропеля естественной влажности, полученного сразу после добычи [10].

Горизонтальный смеситель с ленточным шнеком (рисунок 1) для смешивания комбикорма с сапропелем естественной влажности работает следующим образом: комбикорм загружается в смеситель через загрузочную горловину (9), в то же время включается мотор-редуктор (3) и приводит в движение вал смесителя (2), параллельно вступает в работу насос (16), который посредством трубопроводов (11) подаёт сапропель естественной влажности через распылители (10) в камеру смешивания (1). После загрузки комбикорма и начала распыления сапропеля компоненты смеси перемешиваются спиральными лентами (6) и витками разнонаправленного действия (7), одновременно с этим происходит очистка стенок камеры смешивания от налипания материала посредством использования радиальных лопастей (5). Все перечисленные выше рабочие органы установлены на валу смесителя (2). После окончания цикла смешивания открывается заслонка выгрузной горловины (8), и готовая смесь поступает в мешки для хранения, транспортировки и скармливания полученного корма животным.

Новым в предлагаемой нами конструкции горизонтального смесителя с ленточным шнеком (рисунок 2) является система распыления жидкого сапропеля инжекторного типа, сбалансированная система основных и дополнительных витков спирального шнека и система очистки камеры смешивания посредством использования радиальной лопасти.



1 – камера смешивания; 2 – вал смесителя; 3 – мотор-редуктор; 4 – корпус; 5 – радиальная лопасть; 6 – спиральные ленты шнека; 7 – витки шнека разнонаправленного действия; 8 – выгрузная горловина; 9 – загрузочная горловина; 10 – распылители; 11 – трубопровод; 12 – манометр; 13 – расходомер; 14 – трубопровод сброса избыточного давления; 15 – вентиль; 16 – насос; 17 – расходная ёмкость
Рисунок 1 – Общий вид горизонтального смесителя с ленточным шнеком [10]



Рисунок 2 – Общий вид разработанного смесителя

Для изучения эффективности технологии распыления и смешивания сапропеля естественной влажности и комбикорма проведены экспериментальные исследования, в ходе которых варьировались характеристики конструктивно-технологических параметров разработанного смесителя [11–13].

В соответствии с методикой экспериментальных исследований были выбраны следующие факторы с установленными интервалами варьирования: частота вращения вала шнека смесителя – x_1 (n), мин⁻¹; загрузка смесителя – x_2 (V), %; время смешивания компонентов корма – x_3 (t), мин.

Исследуемые факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 1. При планировании трёхфакторного эксперимента использовали матрицу по плану Бокса – Бенкина [14; 15].

В качестве критериев оптимизации были выбраны: однородность корма – λ , %; пропускная способность смесителя – Q, кг/ч; энергозатраты на процесс смешивания – N, кДж/ч.

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе проведения многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала

Таблица 1 – Попеременные факторы и уровни их варьирования

Параметры	Факторы		
	Частота вращения вала шнека смесителя, мин ⁻¹	Загрузка смесителя, %	Время смешивания компонентов корма, мин
	x_1 (n)	x_2 (V)	x_3 (t)
Верхний уровень (+1)	50	100	6
Основной уровень (0)	40	75	5
Нижний уровень (-1)	30	50	4

смесителя, загрузки смесителя и времени смешивания компонентов корма [16; 17].

Для обоснования выбора факторов и определения характера их влияния на критерии оптимизации был проведён регрессионный анализ.

В результате многофакторного регрессионного анализа, выполненного на основании результатов экспериментальных исследований, установлена зависимость однородности корма λ , от факторов: n , V , t .

После проведения повторного многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала смесителя, загрузки смесителя и времени смешивания компонентов корма на однородность получаемого корма:

$$\begin{aligned} \lambda = & 69,0832 - 0,027655 n + \\ & + 0,0102271 \times V + \\ & + 3,47181 \times t + 0,025 \times n \times t + \\ & + 0,0199735 \times V \times t + \\ & + 0,000189438 \times n^2 - 0,00113671 \times V^2 - \\ & - 0,109449 \times t^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Поверхности отклика, построенные на основе регрессионного анализа, представлены на рисунках 3, 4 и 5.

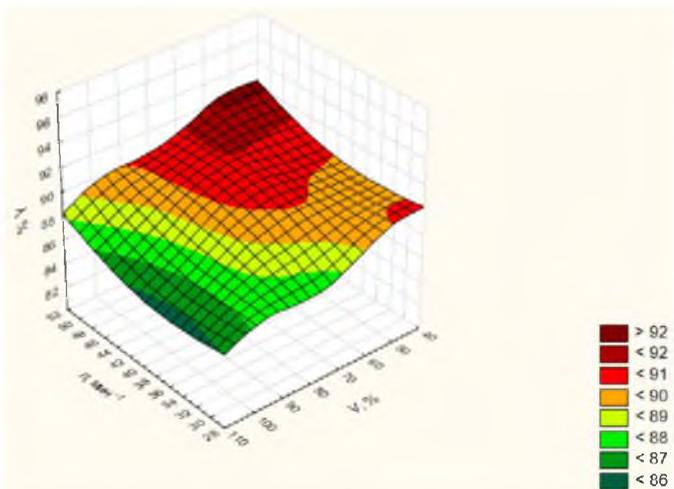


Рисунок 3 – Зависимость однородности корма (λ) от частоты вращения вала смесителя (n , мин⁻¹) и загрузки смесителя (V , %)

Из представленных данных сделан вывод, о том, что модель (1) информационно способна, т. к. коэффициент детерминации параметров достаточно велик 0,977, или 97,7473 %. Обнаружены статистически достоверные (значимые) различия на уровне $\alpha = 0,05$. Заметной корреляции

между опытными данными нет, т. к. статистика Durbin-Watson (DW) больше, чем 1,4. Таким образом, в ходе эксперимента была получена полная квадратичная модель, адекватно аппроксимирующая результаты эксперимента на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

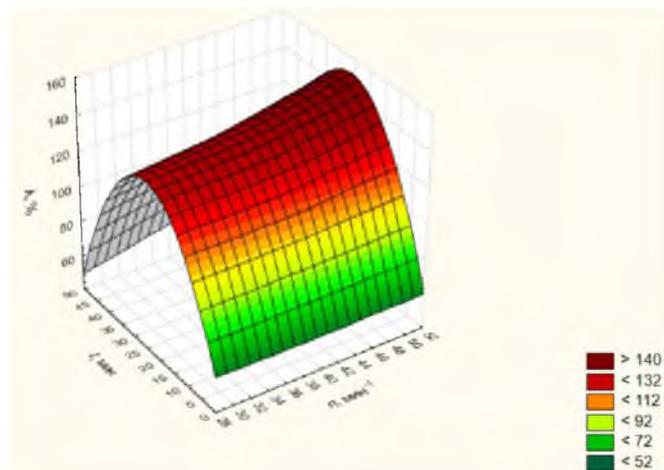


Рисунок 4 – Зависимость однородности корма (λ) от частоты вращения вала смесителя (n , мин⁻¹) и времени смешивания компонентов корма (t , мин)

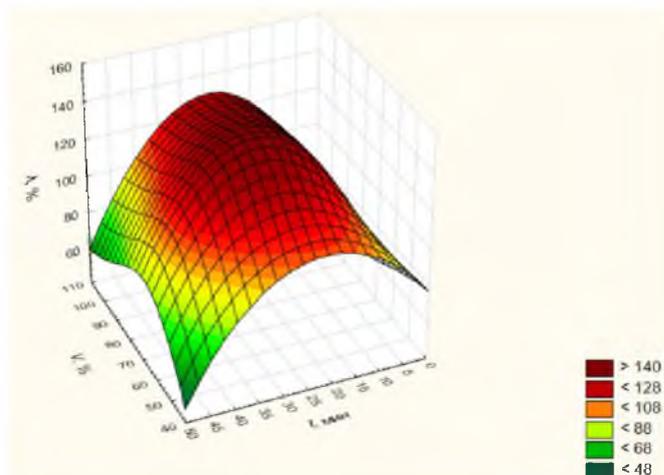


Рисунок 5 – Зависимость однородности корма (λ) от загрузки смесителя (V , %) и времени смешивания компонентов корма (t , мин)

Принимая во внимание значение коэффициентов получаемой математической модели, анализируя поверхности отклика (рисунки 3, 4 и 5), отмечено, что наибольшая степень однородности корма 92...95% достигается при частоте вращения вала смесителя от 40 до 50 мин⁻¹, при времени смешивания компонентов корма 4 минуты и при загрузке смесителя 65...75 %. Также исходя из проведенного анализа видно, что наибольшее влияние на однородность корма оказывают такие факторы, как частота вращения вала шнека сме-

сителя и время смешивания компонентов корма, в меньшей степени однородность корма зависит от загрузки смесителя [18].

Наибольшая степень однородности корма $\lambda=96\%$ наблюдалась при частоте вращения вала шнека смесителя $n = 50 \text{ мин}^{-1}$; загрузке смесителя $V = 75\%$; времени смешивания компонентов корма $t = 6 \text{ мин}$.

В результате многофакторного регрессионного анализа, выполненного на основании полученных экспериментальных данных, установлена зависимость пропускной способности смесителя Q от факторов: n, V, t .

После проведения повторного многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала шнека смесителя, загрузки смесителя и времени смешивания компонентов корма на пропускную способность смесителя:

$$Q = 898,178 - 4,59097 \times n + 2,34818 \times V - 128,316 \times t - 0,002 \times n \times V + 0,025 \times n \times t + 0,356484 \times V \times t + 0,0619184 \times n^2 - 0,01899031 \times V^2 + 2,19984 \times t^2. \quad (2)$$

Поверхности отклика, построенные на основе регрессионного анализа, изображены на рисунках 6, 7 и 8.

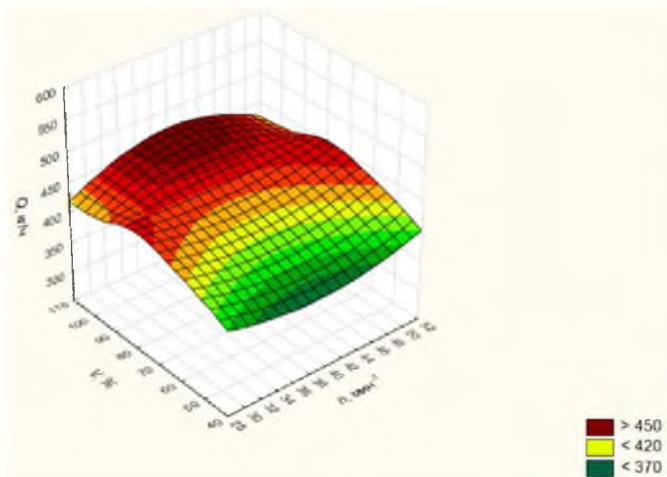


Рисунок 6 – Зависимость пропускной способности смесителя (Q) от частоты вращения вала шнека смесителя ($n, \text{мин}^{-1}$) и загрузки смесителя ($V, \%$)

Из представленных данных сделан вывод, о том, что модель (2) информационно способна, т. к. коэффициент детерминации параметров достаточно велик 0,945, или 94,4558%. Обнаружены статистически достоверные (значимые) различия

на уровне $\alpha = 0,05$. Заметной корреляции между опытными данными нет, так как статистика Durbin-Watson (DW) больше, чем 1,4. Таким образом, в ходе эксперимента была получена полная квадратичная модель, адекватно аппроксимирующая результаты эксперимента на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

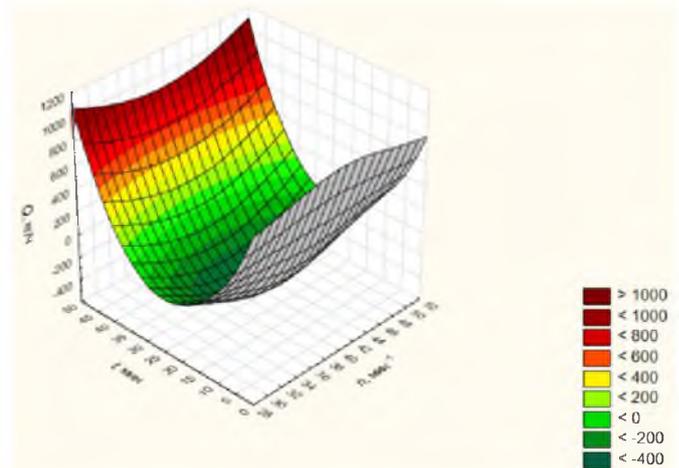


Рисунок 7 – Зависимость пропускной способности смесителя (Q) от частоты вращения вала смесителя ($n, \text{мин}^{-1}$) и времени смешивания компонентов корма ($t, \text{мин}$)

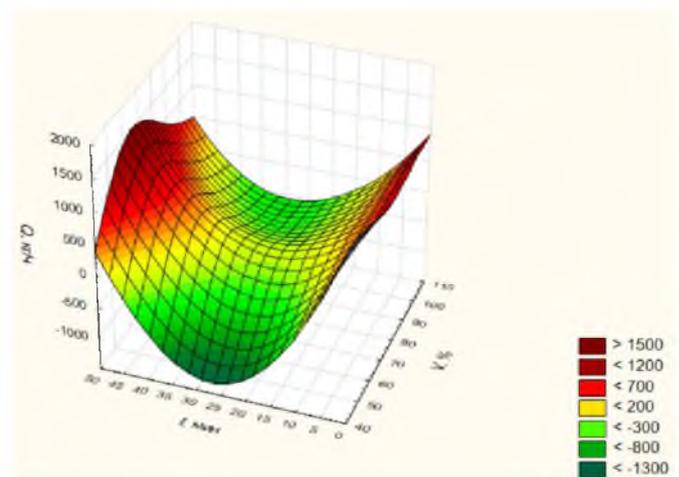


Рисунок 8 – Зависимость пропускной способности смесителя (Q) от загрузки смесителя ($V, \%$) и времени смешивания компонентов корма ($t, \text{мин}$)

Принимая во внимание значение коэффициентов получаемой математической модели, анализируя поверхности отклика (рисунки 6, 7 и 8), отмечено, что наибольшая пропускная способность достигается при увеличении частоты вращения вала шнека смесителя. При этом пропускная способность в незначительной степени зависит от загрузки смесителя, а при увеличении времени

смешивания пропускная способность снижается.

Наибольшая пропускная способность регистрировалась при частоте вращения вала шнека смесителя $n = 40 \text{ мин}^{-1}$; загрузке смесителя $V = 100 \%$; времени смешивания компонентов корма $t = 4 \text{ мин}$.

Проведенный многофакторный регрессионный анализ, выполненный на основании результатов экспериментальных исследований, установил зависимость энергозатрат на процесс смешивания N от факторов: n , V , t .

После проведения повторного многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала шнека смесителя, загрузки смесителя и времени смешивания компонентов корма на энергозатраты на процесс смешивания:

$$\begin{aligned} N = & 11166,8 - 366,34 \times n - \\ & - 28,314 \times V - 772,2 \times t + 1,692 \times n \times V - \\ & - 18,27 \times n \times t - 1,62 \times V \times t + \\ & + 5,202 \times n^2 - 0,09792 \times V^2 + 153,9 \times t^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Поверхности отклика, построенные на основе регрессионного анализа, изображены на рисунках 9, 10 и 11.

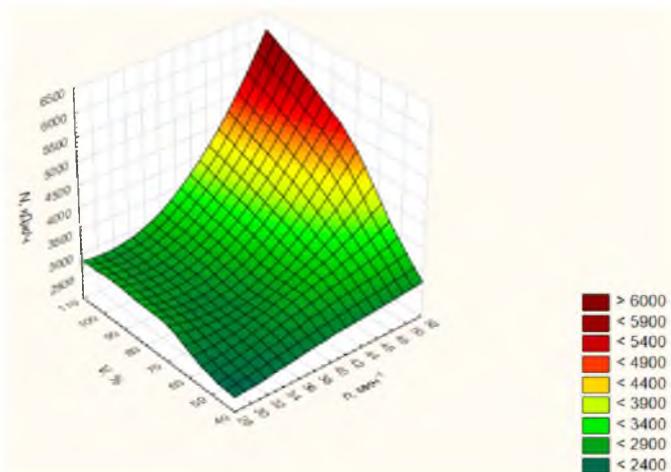


Рисунок 9 – Зависимость энергозатрат на процесс смешивания (N) от частоты вращения вала шнека смесителя (n , мин^{-1}) и загрузки смесителя (V , %)

Из представленных данных сделан вывод, о том, что модель (3) информационно способна, т. к. коэффициент детерминации параметров достаточно велик 0,955, или 95,5033 %. Обнаружены статистически достоверные (значимые) различия на уровне $\alpha = 0,05$. Заметной корреляции между опытными данными нет, т. к. статистика Durbin-Watson (DW) больше, чем 1,4. Таким образом,

в ходе эксперимента была получена полная квадратичная модель, адекватно аппроксимирующая результаты эксперимента на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

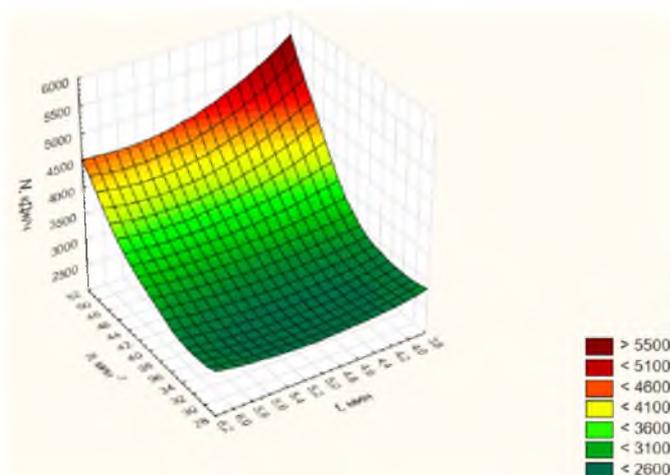


Рисунок 10 – Зависимость энергозатрат на процесс смешивания (N) от частоты вращения вала смесителя (n , мин^{-1}) и времени смешивания компонентов корма (t , мин)

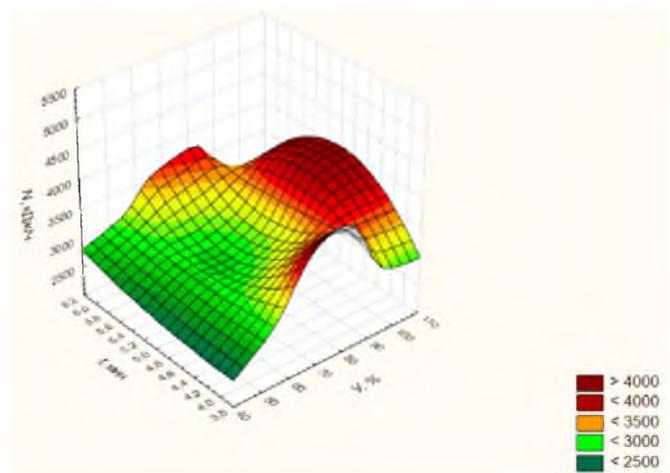


Рисунок 11 – Зависимость энергозатрат на процесс смешивания (N) от загрузки смесителя (V , %) и времени смешивания компонентов корма (t , мин)

Принимая во внимание значение коэффициентов получаемой математической модели, анализируя поверхности отклика (рисунки 9, 10 и 11), выявлено, что на изменения затрачиваемой мощности на процесс смешивания компонентов корма влияют все три изменяемых величины. Исходя из этого можно сделать вывод, что оптимальный режим работы будет достигаться до потребляемой мощности менее 3600 кДж/ч. При этом наибольшая величина показателя энергозатрат на процесс смешивания наблюдается при предельных значениях частоты вращения вала шнека смесителя

и его загрузки, в меньшей мере влияет такой фактор, как время смешивания.

Наименьшие энергозатраты на процесс смешивания $N = 2415.6$ кДж/ч наблюдались при частоте вращения вала шнека смесителя $n = 30$ мин⁻¹; загрузке смесителя $V = 50$ %; времени смешивания компонентов корма $t = 5$ мин.

Заключение. В результате экспериментальных исследований работы горизонтального смесителя с ленточным шнеком были получены следующие рациональные конструктивно-технологические параметры: частота вращения вала смесителя $n = 40$ мин⁻¹; загрузки смесителя $V = 50$ %; времени смешивания $t = 6$ мин. При таких значениях факторов: однородность корма составит $\lambda = 94$ %; пропускная способность $Q = 277$ кг/час; энергозатраты на процесс смешивания $N = 2905,2$ кДж/ч. Полученные экспериментальные данные подтверждают теоретические предположения и дают возможность рекомендовать разработанный агрегат к использованию в линиях производства кормов на основе сапропеля с целью повышения качества кормосмесей и снижения затрат на его производство.

Список источников

1. Волков В.В., Ярмоц Г.А., Беленькая А.Е. Эффективность применения комплексной кормовой добавки на основе сапропеля в кормлении крупного рогатого скота // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (68). С. 72-76. DOI: 10.31563/1684-7628-2023-68-4-72-76. EDN: PSYAIU.
2. Дементьев В.А. Влияние реологических и технологических параметров на расход сапропеля естественной влажности в напорном трубопроводе // Гидротехническое строительство. 2024. № 8. С. 50-55. EDN: HXRBC.
3. Сапропель как кормовая добавка в животноводстве / В.В. Волков [и др.] // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2023. № 11 (220). С. 29-36. DOI: 10.33920/sel-05-2311-03. EDN: TJSTDN.
4. Результаты экспериментальных исследований шнекового пресса для обезвоживания сапропеля естественной влажности / В.Г. Игнатенков [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2 (34). С. 62-66. EDN: YSGGIJ.
5. Improving efficiency of horizontal ribbon mixer by optimizing its constructional and operational parameters / A. Marczuk, W. Misztal, P. Savinykh [et al.] // Eksploatacja i Niezawodnosc. 2019. Vol. 21. No. 2. P. 220-225. DOI: 10.17531/ein.2019.2.5. EDN: KLKTDE.
6. Solonscikov P., Barwicki J., Savinyh P., Gaworski M. Optimization of design parameters of experimental installation concerning preparation of liquid feed mixtures // Processes. 2021. Vol. 9. No. 12. DOI: 10.3390/pr9122104. EDN: PYPPKI.
7. Теоретическое обоснование работы горизонтального смесителя с ленточным шнеком / М.А. Фомичев [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. 2024. № 71. С. 98-104. EDN: PICOEE.
8. Исследование процесса смешивания компонентов корма / В.В. Морозов [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 4 (40). С. 73-80. DOI: 10.52463/22274227_2021_40_73. EDN: GSMARZ.
9. Богданов К.А. Теоретическое исследование конструктивных и технологических параметров в экструдере для производства кормов с добавлением сапропеля // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 2 (38). С. 50-54. DOI: 10.52463/22274227_2021_38_71. EDN: NGZFLM.
10. Горизонтальный смеситель для смешивания сыпучих компонентов: пат. 216423 U1 Рос. Федерация, МПК В01F 27/72, В01F 27/60, № 2022128604/ М.А. Фомичев, В.Г. Игнатенков, В.Е. Саитов [и др.]; заявл. 03.11.2022; опубл. 02.02.2023.
11. Theoretical studies of the interaction between screw surface and material in the mixer / A. Marczuk [et al.] // Materials. 2021. Vol. 14. No. 4. P. 1-29. DOI: 10.3390/ma14040962. EDN: EEPNZW.
12. Solonshchikov P., Savinykh P., Ivanovs S. Determination and optimization of feeding device parameters in the plant for preparing liquid feed mixtures // Rural Sustainability Research. 2021. Vol. 45. No. 340. P. 13-20. DOI: 10.2478/plua-2021-0003. EDN: HTGYII.
13. Игнатенков В.Г., Лаппо Е.Л., Быченков Д.М. Результаты экспериментальных исследований универсального смесителя-измельчителя для производства витаминно-кормовых добавок на основе сапропеля // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 6 (164). С. 166-171. EDN: XWXPTV.
14. Киприянов Ф.А., Савиных П.А. Результаты экспериментально-поисковых исследований по влиянию микронизации на усилие разрушения зерновки // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. №4 (72). С. 75-81. DOI: 10.12737/2073-0462-2023-75-81. EDN: POTOYN.
15. Фоминых А.В., Сегреев Н.С., Судаков К.В. Теоретические исследования вибрационно-гравитационного дозатора сыпучих кормов // Вест-

ник Курганской ГСХА. 2023. № 4 (48). С. 71-78. EDN: MAEIDI.

16. Производственный процесс приготовления кормовых смесей для сельскохозяйственных животных / Г.Г. Класнер [и др.] // Проблемы научной мысли. 2023. Т. 9. № 2. С. 94-96. EDN: TCEPIR.

17. Савиных П.А., Турубанов Н.В. Исследование влияния конструктивно-технологических параметров горизонтального смесителя на показатели его рабочего процесса // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 3 (47). С. 42-47. DOI: 10.51794/27132064-2022-3-42. EDN: PXIORB.

18. Зимин И.Б., Игнатенков В.Г., Фомичев М.А. Результаты экспериментальных исследований смесителя-гранулятора для получения топливных гранул // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 36-42. DOI: 10.52463/22274227_2022_42_36. EDN: ENGQUD.

References

1. Volkov V.V., Yarmots G.A., Belenkaya A.E. Effektivnost' primeneniya kompleksnoi kormovoi dobavki na osnove sapropelya v kormlenii krupnogo rogatogo skota [Efficiency of using a complex feed additive based on sapropel in feeding cattle]. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2023; 4(68): 72-76. DOI: 10.31563/1684-7628-2023-68-4-72-76. EDN: PSYAIU. (In Russ).

2. Dementiev V.A. Vliyaniye reologicheskikh i tekhnologicheskikh parametrov na raskhod sapropelya estestvennoi vlazhnosti v napornom truboprovode [The influence of rheological and technological parameters on the consumption of sapropel of natural humidity in a pressure pipeline]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2024; (8): 50-55. EDN: HXRIBC. (In Russ).

3. Volkov V.V. et al. Sapropel' kak kormovaya dobavka v zhivotnovodstve [Sapropel as a feed additive in animal husbandry]. *Feeding of agricultural animals and feed production*. 2023; 11(220): 29-36. DOI: 10.33920/sel-05-2311-03. EDN: TJSTDN. (In Russ).

4. Ignatenkov V.G. et al. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy shnekovogo pressa dlya obezvozhivaniya sapropelya estestvennoi vlazhnosti [Results of experimental studies of a screw press for dehydration of sapropel of natural moisture content]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2020; 2(34): 62-66. EDN: YSGGIJ. (In Russ).

5. Marczuk A., Misztal W., Savinykh P. Improving efficiency of horizontal ribbon mixer by optimizing its constructional and operational parameters. *Eksploatacja i Niezawodnosc*. 2019; 21(2): 220-225. DOI: 10.17531/ein.2019.2.5. EDN: KLKTDE.

6. Solonscikov P., Barwicki J., Savinyh P., Gaworski M. Optimalization of design parameters of experimental installation concerning preparation of liquid feed mixtures. *Processes*. 2021; 9(12): DOI: 10.3390/pr9122104. EDN: PYPPKI.

7. Fomichev M.A. et al. Teoreticheskoe obosnovanie raboty gorizontalnogo smesitelya s lentochnym shnekom [Theoretical justification of the operation of a horizontal mixer with a ribbon auger]. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2024; (71): 98-104. EDN: PICOEE. (In Russ).

8. Morozov V.V. et al. Issledovanie protsessa smeshivaniya komponentov korma [Study of the process of mixing feed components]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2021; 4(40): 73-80. DOI: 10.52463/22274227_2021_40_73. EDN: GSMARZ. (In Russ).

9. Bogdanov K.A. Teoreticheskoe issledovanie konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov v ekstrudere dlya proizvodstva kormov s dobavleniem sapropelya. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2021; 2(38): 50-54. DOI: 10.52463/22274227_2021_38_71. EDN: NGZFLM. (In Russ).

10. Gorizontalnyy smesitel' dlya smeshivaniya sypuchikh komponentov [Horizontal mixer for mixing bulk components]: Pat. 216423 U1 Rus. Federation, No 2022128604/ M.A. Fomichev, V.G. Ignatenkov, V.E. Saitov [et al.]; dec. 03 November 2022; publ. 02.02.2023. (In Russ).

11. Marczuk A. et al. Theoretical studies of the interaction between screw surface and material in the mixer. *Materials*. 2021; 14(4): 1-29. DOI: 10.3390/ma14040962. EDN: EEPNZW.

12. Solonshchikov P., Savinykh P., Ivanovs S. Determination and optimization of feeding device parameters in the plant for preparing liquid feed mixtures. *Rural Sustainability Research*. 2021; 45(340): 13-20. DOI: 10.2478/plua-2021-0003. EDN: HTGYII.

13. Ignatenkov V.G., Lappo E.L., Bychenkov D.M. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy universal'nogo smesitelya-izmel'chitelya dlya proizvodstva vitaminno-kormovykh dobavok na osnove sapropelya [Results of experimental studies of a universal mixer-grinder for the production of vitamin-feed additives based on sapropel]. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018; 6(164): 166-171. EDN: XWXPTV. (In Russ).

14. Kipriyanov F.A., Savinykh P.A. Rezul'taty eksperimental'no-poiskovykh issledovaniy po vliyaniyu mikronizatsii na usilie razrusheniya zernovki [Results of experimental research on the effect of micronization on the force of destruction of the grain]. *Vestnik of the*

Kazan State Agrarian University. 2023; 18-4(72): 75-81. DOI: 10.12737/2073-0462-2023-75-81. EDN: POTOYH. (In Russ).

15. Fominykh A.V., Sergeev N.S., Sudakov K.V. Teoreticheskie issledovaniya vibratsionno-gravitatsionnogo dozatora sypuchikh kormov [Theoretical research of vibration-gravity dispenser of bulk feed]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2023; 4(48): 71-78. EDN: MAEIDI. (In Russ).

16. Klasner G.G. et al. Proizvodstvennyi protsess prigotovleniya kormovykh smesei dlya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Manufacturing process of preparing feed mixtures for farm animals]. *Problemy nauchnoi mysli*. 2023; 9(2): 94-96. EDN: TCEPIP. (In Russ).

17. Savinykh P.A., Turubanov N.V. Issledovanie vliyaniyakonstruktivno-tehnologicheskikh parametrov gorizontalnogo smesitelya na pokazateli ego rabocheho protsessa [Study of the influence of design and technological parameters of a horizontal mixer on the performance of its working process]. *Machinery and technologies in livestock*. 2022; 3(47): 42-47. DOI: 10.51794/27132064-2022-3-42. EDN: PXIORB. (In Russ).

18. Zimin I.B., Ignatenkov V.G., Fomichev M.A. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy smesitelya-granulyatora dlya polucheniya toplivnykh granul [Results of experimental studies of a mixer-granulator for producing fuel pellets]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2022; 2(42): 36-42. DOI: 10.52463/22274227_2022_42_36. EDN: ENGQUD. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Фомичев М.А. – написание исходного текста; развитие методологии;

Игнатенков В.Г. – научное руководство; концепция исследования; написание исходного текста;

Алешкин А.В. – развитие методологии;

Морозов В.В. – научное руководство; итоговые выводы.

AUTHOR CONTRIBUTION

Fomichev, M.A. – writing the original text; development of methodology;

Ignatenkov, V.G. – scientific guidance; research concept; writing the original text;

Aleshkin, A.V. – development of methodology;

Morozov, V.V. – scientific guidance; final conclusions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

Информация об авторах

М.А. Фомичев – AuthorID 1087451.

В.Г. Игнатенков – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 330396.

А.В. Алешкин – доктор технических наук, профессор; AuthorID 257832.

В.В. Морозов – доктор технических наук, профессор; AuthorID 786350.

Information about the author

M.A. Fomichev – AuthorID 1087451.

V.G. Ignatenkov – candidate of technical sciences, associate professor; AuthorID 330396.

A.V. Aleshkin – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 257832.

V.V. Morozov – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 786350.

Статья поступила в редакцию 17.11.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 17.11.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 17.12.2024.

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 80–89
Vestnik Kurganskoj GSNA. 2024; (4-52): 80–89

Научная статья

УДК 631.372

Код ВАК 4.3.1

EDN: YGBDJM

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Сергей Васильевич Щитов¹, Зоя Федоровна Кривуца²✉, Елена Сергеевна Поликутина³,
Андрей Владимирович Бурмага⁴, Роман Олегович Сурин⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

¹ shitov.sv1955@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2409-450X>

² zfk20091@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-5345-1732>

³ e.polikytina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1421-3321>

⁴ burmaga@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2169-658X>

⁵ roman_surin81.81@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-7667-551X>

Аннотация. Цель исследований – определение эффективности процесса подготовки почвы с учётом региональных особенностей Амурской области. Проведение сельскохозяйственных работ, таких как уборка, подготовка почвы и посев, во многом зависит от региональных особенностей Амурской области. В исследуемом регионе основные посевные площади отведены под сою, объём производства которой в РФ составляет свыше 40 % [1]. Поздние сроки уборки (с наступлением отрицательных температур) не позволяют подготовить почву к проведению весенних посевных работ. Температура воздуха в зимний период времени достигает -40...-45°C, что вызывает промерзание почвенного горизонта на глубину до 3 м. В весенний период таяние снежного покрова и выпадение осадков в виде дождя со снегом перенасыщают почву влагой, что сказывается на её несущей способности. Проведённые исследования позволили предложить конструктивное решение для подготовки почвы в виде прокальвателя-щелереза, который крепится спереди трактора и позволяет применять его совместно с почвообрабатываемыми агрегатами. Предлагаемое устройство способно прокальвать почву на глубину до 0,42 м, что даёт возможность уменьшить влажность верхнего слоя почвы и создать оптимальные условия для произрастания растений. При работе данного устройства происходит перераспределение нагрузки между ведущими мостами трактора: снижение нагрузки на передний мост – с 67,3 кН до 60,5 кН, а увеличение на задний мост – с 33,1 кН до 38,6 кН. Это позволило в конечном итоге снизить плотность почвы после прохода трактора на 7,2 %, твёрдость почвы – на 6,1 %, глубину колеи – на 9,6 %. Использование предлагаемого устройства в агрегате с БДМ-6х4п даёт возможность получить экономию полных энергозатрат в размере 1841,53 МДж/га.

Ключевые слова: трактор, машинно-тракторный агрегат, прокальватель-щелерез, нагрузка, почва, физико-механические свойства, твёрдость, плотность, влажность, глубина.

Благодарности: работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Дополнительные грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Для цитирования: Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Поликутина Е.С., Бурмага А.В., Сурин Р.О. Оптимизация процессов предпосевной подготовки почвы в Амурской области // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 80–89. EDN: YGBDJM.

Scientific article

OPTIMIZATION OF PRE-SOWING SOIL PREPARATION PROCESSES IN THE AMUR REGION

Sergey V. Shchitov¹, Zoya F. Krivutsa²✉, Elena S. Polikutina³, Andrei V. Burmaga⁴, Roman O. Surin⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia

¹ shitov.sv1955@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2409-450X>

² zfk20091@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-5345-1732>

³ e.polikytina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1421-3321>

⁴ burmaga@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2169-658X>

⁵ roman_surin81.81@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-7667-551X>

Abstract. The purpose of the research is to determine the effectiveness of the soil preparation process, taking into account the regional characteristics of the Amur region. Carrying out agricultural work, such as harvesting, soil preparation and sowing, largely depends on the regional characteristics of the Amur region. In the region under study, the main cultivated area is occupied by soybeans, the production volume of which in the Russian Federation is over 40% [1]. Late harvesting dates (with the onset of negative temperatures) do not allow for preparing the soil for

spring sowing in autumn. The air temperature in winter reaches $-40...-45$ °C, which causes the soil horizon to freeze to a depth of 3 m. In spring, the melting of snow cover and precipitation in the form of rain and snow saturate the soil with moisture, which affects its bearing capacity. The conducted research made it possible to propose a constructive solution for soil preparation in the form of a piercing-milling chisel plough, which is attached to the front of the tractor and allows it to be used in conjunction with tillable units. The proposed device is capable of piercing the soil to a depth of 0.42 m, which makes it possible to reduce the humidity of the upper soil layer and create optimal conditions for plant growth. When this device is in operation, the load is redistributed between the tractor's drive axles: the load on the front axle decreased from 67.3 kN to 60.5 kN, and the increase on the rear axle is from 33.1 kN to 38.6 kN. This eventually made it possible to reduce the soil density after a tractor pass by 7.2%, soil hardness by 6.1%, and track depth by 9.6%. The use of the proposed device in an aggregate with four-row disk harrow BDM-6x4p makes it possible to obtain savings in total energy consumption in the amount of 1,841.53 MJ/ha.

Keywords: tractor, machine-tractor unit, piercing-milling chisel plough, load, soil, physical and mechanical properties, hardness, density, humidity, depth.

Acknowledgments: the work was funded from the budget of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'Far Eastern State Agrarian University'. No additional grants have been received to conduct or direct this particular study.

For citation: Shchitov S.V., Krivitsa Z.F., Polikutina E.S., Burmaga A.V., Surin R.O. Optimization of pre-sowing soil preparation processes in the Amur region. Vestnik Kurganskoj GSHA. 2024; (4-52): 80–89. EDN: YGBDJM. (In Russ).

Введение. Увеличение эффективности проведения подготовки почвы для посевных работ должно идти по пути снижения энергетических затрат. Это возможно достичь применением комбинированных машинно-тракторных агрегатов (МТА), сокращающих количество операций и снижающих отрицательное воздействие на почву за счёт уменьшения числа прохода их по полю [1–3]. В настоящее время в Амурской области для улучшения отвода влаги с верхних слоёв почвы в нижние горизонты применяется щелевание почвы. Данная операция кроме отвода излишней влаги позволяет снизить переуплотнение почвы, вызванное воздействием на неё ходовыми системами машинно-тракторных агрегатов. Почвы региона в основном представлены тяжёлым суглинком, что ухудшает отвод излишней влаги в нижние почвенные горизонты. Сроки проведения посевных работ сильно ограничены, так как с повышением температурного режима начинает-

ся таяние мерзлотного основания, что ещё больше усугубляет положение [4–6]. Для проведения щелевания почвы используются различные орудия (рисунок 1).

Решение данной проблемы должно идти по пути одновременного проведения щелевания почвы и её подготовки под посев. На сегодняшний день имеющиеся агрегаты для щелевания почвы не приспособлены для одновременного использования с орудиями, предназначенными для подготовки почвы без конструктивных особенностей (расположение после энергетического средства) [7]. Кроме того, для снижения энергозатрат, связанных с процессом щелевания, необходимо изменить способ получения каналов, служащих для отвода избыточной влаги в нижние почвенные горизонты.

На основании проведенного анализа существующих конструкций для щелевания почв было разработано и предложено устройство (фрон-

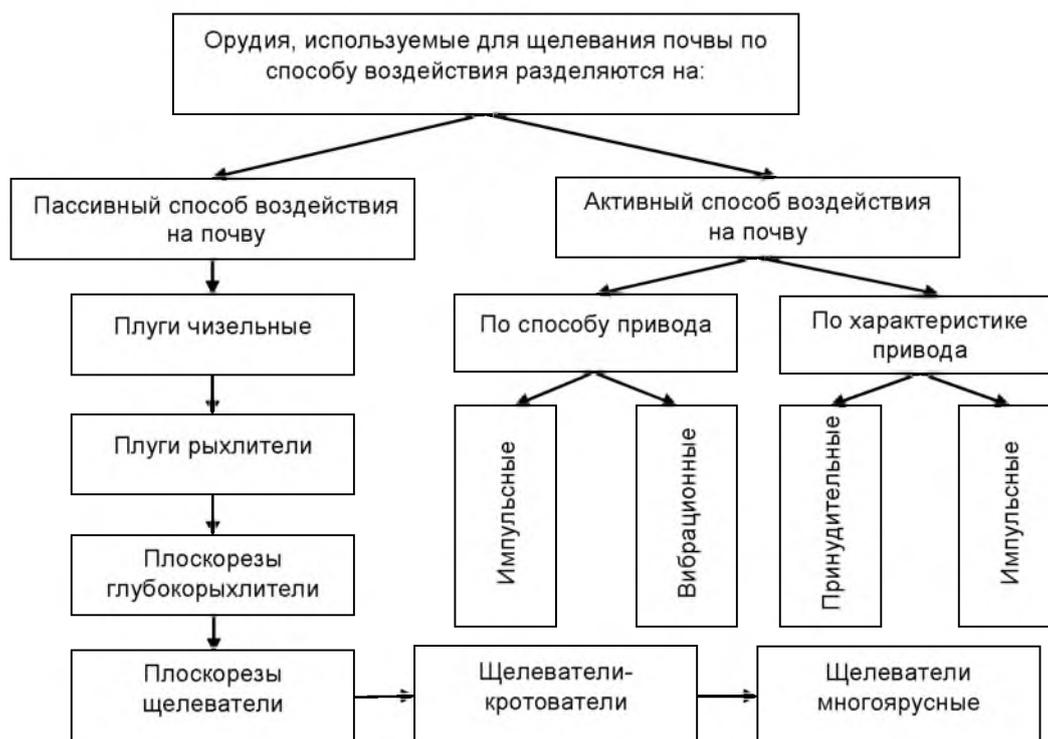


Рисунок 1 – Агрегаты, используемые для щелевания почвы

тальный прокальватель-щелерез) [8], которое позволяет наряду с отводом влаги иметь меньшее сопротивление при обработке, дает возможность снизить нагрузку на передний мост трактора с шарнирно-сочленённой рамой (снизит техногенное воздействие ходовой системы на почву) и использовать в агрегате почвообрабатывающее орудие (уменьшить энергозатраты и сроки подготовки почвы).

Материалы и методы. При проведении исследований, направленных на определение нагрузки, приходящейся на рабочий орган прокальвателя-щелереза и опорную поверхность энергетического средства (трактора), за основу была взята методика в соответствии с ГОСТ 58656-219 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву». Физико-механические свойства почвы определялись с учётом требований ГОСТ 26953-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву». Для топливно-энергетической оценки использования комбинированного машинно-тракторного агрегата применялась методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве предложенная ВИМ [9].

Экспериментальные исследования проведены в производственных условиях КФХ «Швецов С. Н» Благовещенского района Амурской области. Почва данного хозяйства является типичной для южного района Амурской области, луговая черноземовидная с механическим составом – тяжёлый суглинок. Для проведения исследований выбирались в основном горизонтальные участки с углом наклона поверхности не более 2 градусов.

При измерении нагрузки, приходящейся на рабочий орган прокальвателя-щелереза и опорную поверхность энергетического средства (трактора), использовались весы платформенные электронные марки МВСК(В). Для определения физико-механических характеристик почвы использовали следующее оборудование: влажность почвы – цифровой влагомер «PMS-710», плотность почвы – цилиндр-бур, твёрдость – цифровой измеритель твердости грунта TYD-2, глубина обработки и глубина следа измерялись с помощью измерительной линейки, угол наклона – инклинометром Absolute Digital Protractor. Для измерения пройденного расстояния, времени движения, скорости движения и частоты вращения ведущих колес энергетического средства использовался комплекс MAGENE C406 Pro. Фиксация замеряемых пара-

метров осуществлялась бортовым регистрирующим устройством [10–12].

Цель исследований – увеличение эффективности процесса щелевания почвы за счёт использования многофункционального машинно-тракторного агрегата.

Для выполнения обозначенной цели были поставлены следующие задачи исследований:

- провести анализ существующих почвообрабатывающих орудий, используемых для щелевания почвы;
- разработать и обосновать конструкцию щелевателя, используемого в составе многофункционального машинно-тракторного агрегата;
- провести производственные исследования предлагаемого многофункционального машинно-тракторного агрегата с целью обоснования его конструктивно-технологических параметров;
- установить влияние предлагаемого многофункционального машинно-тракторного агрегата на физико-механические свойства почвы;
- обосновать эффективность использования предлагаемого многофункционального машинно-тракторного агрегата с использованием топливно-энергетической оценки.

Взаимосвязь между целью и задачами исследования показана на рисунке 2.

В качестве объекта исследований использовали машинно-тракторный агрегат – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокальватель-щелерез), установленное в передней части энергетического средства (рисунок 3). Предлагаемый машинно-тракторный агрегат позволяет выполнять одновременно две технологические операции:

- щелевание почвы;
- подготовка почвы под посевные работы безотвальным способом.

Как видно из представленного алгоритма (рисунок 2), конечный результат исследований – снижение полных энергетических затрат [13–15].

Установленное на трактор устройство (фронтальный прокальватель-щелерез) работает следующим образом. При выезде на поле с целью подготовки почвы под посевные работы трактор при помощи гидрораспределителя направляет поток масла под давлением в дополнительно установленный гидроцилиндр, который, воздействуя на рамную конструкцию, и передаёт нагрузку на рабочий орган прокальвателя-щелереза. Рабочий орган под действием на него нагрузки прокальвает почвенный горизонт и, перекатываясь в процессе движения, проводит процесс щелевания. При этом образуются каналы для отвода излишней влаги с верхних почвенных горизонтов

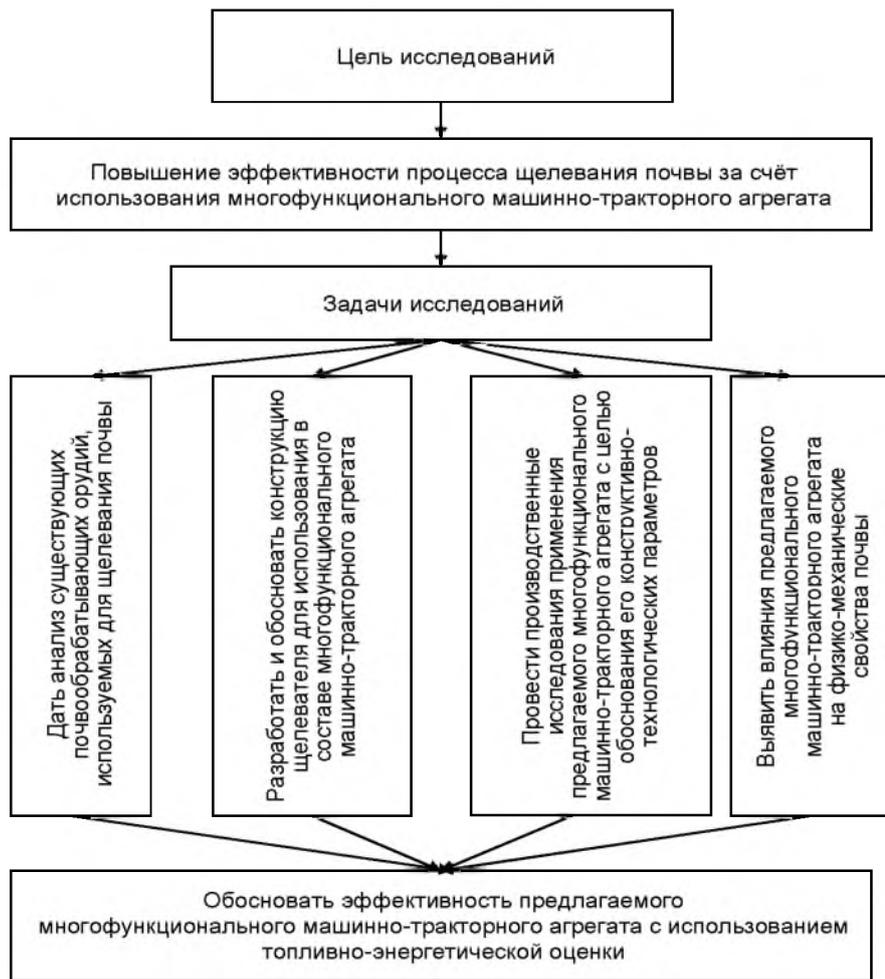


Рисунок 2 – Алгоритм взаимосвязи цели и задачи исследований

в более нижние. Необходимо отметить, что данный рабочий орган в процессе создания каналов для отвода излишней влаги уплотняет при этом и стенки данных каналов. При передаче нагрузки с переднего моста трактора на устройство (фронтальный прокальватель-щелерез) происходит одновременно и перераспределение сцепного веса между мостами трактора [16–18]. Проведённые теоретические исследования позволили определить перераспределение нагрузки, приходящейся на ведущие мосты трактора с шарнирно-сочленённой рамой:

– передний ведущий мост

$$y''_{\text{п}} = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}})}{B} - \frac{x'_c h + y'_c (B + b)}{B}, \quad (1)$$

– задний ведущий мост

$$y''_3 = \frac{G_{\text{п}} b_{\text{п}} + G_3 (B - b_3)}{B} + \frac{x'_c h + y'_c b}{B}, \quad (2)$$

где $G_3, G_{\text{п}}$ – нагрузка, создаваемая задней и передней полурамами трактора соответственно, Н, B – продольная база колесного трактора с шарнирно-сочленённой рамой, м;

b_3 – расстояние между реакцией почвы на задний ведущий движитель до точки расположения центра тяжести задней полурамы трактора, м;

$b_{\text{п}}$ – расстояние между реакцией почвы на передний ведущий движитель до точки расположения центра тяжести передней полурамы трактора, м;

x'_c и y'_c – силовые реакции, возникающие в точке крепления устройства (фронтальный прокальватель-щелерез) к трактору, Н;

h – расстояние от точки крепления устройства (фронтальный прокальватель-щелерез) к трактору до опорной поверхности, по которой движется трактор с шарнирно-сочленённой рамой, м;

b – расстояние от точки крепления устройства (фронтальный прокальватель-щелерез) к трактору до реакции почвы на передний ведущий движитель трактора с шарнирно-сочленённой рамой, м.



Рисунок 3 – Общий вид машинно-тракторного агрегата – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокальватель-щелерез)

Анализируя полученные аналитические зависимости, необходимо отметить, что при работе предлагаемого устройства (фронтальный прокальватель-щелерез) произошло перераспределение нагрузки, приходящейся на движители трактора с шарнирно-сочленённой рамой [19; 20]:

- снижение нагрузки, приходящейся на передний мост трактора;
- увеличение нагрузки, приходящейся на задний мост трактора.

Результаты исследований и их обсуждение.

При проведении производственных испытаний машинно-тракторного агрегата – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокальватель-щелерез), были выполнены исследования по распределению влажности почвы по глубине почвенного горизонта.

На основании осуществлённых исследований были получены следующие результаты по распределению влажности:

- на глубине почвенного горизонта 0,05 м влажность почвы составляла 10,3...10,7 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,10 м влажность почвы составляла 12,0...14,5 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,15 м влажность почвы составляла 15,2...18,7 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,20 м влажность почвы составляла 19,1...25,0 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,25 м влажность почвы составляла 26,1...34,2 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,30 м влажность почвы составляла 35,9...39,0 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,35 м влажность почвы составляла 37,2...40,5 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,40 м влажность почвы составляла 39,1...42,7 %;

- на глубине почвенного горизонта 0,45 м влажность почвы составляла 40,4...44,1 %.

В результате проведенных исследований установлено, что распределение влаги по глубине почвенного горизонта неравномерное. Необходимо отметить, что перенасыщение почвы влагой наблюдается уже на глубине почвенного горизонта 0,2 м до 25 %. В связи с этим возникает острая необходимость отвода избыточной влаги в нижние слои почвенного горизонта с целью обеспечения благоприятных условий для произрастания и развития сельскохозяйственных культур.

Проведённые исследования по определению глубины прокальвания почвенного горизонта показали, что, регулируя длину выхода штока гидроцилиндра устройства (фронтальный прокальватель-щелерез), можно изменять глубину прокальвания почвенного горизонта:

- длина выхода штока гидроцилиндра 0,55 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,33 м;
- длина выхода штока гидроцилиндра 0,57 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,34 м;
- длина выхода штока гидроцилиндра 0,60 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,36 м;
- длина выхода штока гидроцилиндра 0,62 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,38 м;
- длина выхода штока гидроцилиндра 0,64 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,42 м.

Полученные результаты по влиянию длины выхода штока гидроцилиндра на глубину прокальвания почвенного горизонта позволяют сде-

лать вывод, что при увеличении длины выхода штока гидроцилиндра с 0,55...0,64 м можно изменять глубину прокалывания почвенного горизонта с 0,33...0,42 м. Это позволяет снизить влажность поверхностного горизонта почвы.

В процессе производственных испытаний были проведены исследования по изменению плотности почвы:

– плотность почвы до прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой составляла 1,22 г/см³;

– плотность почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой без устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез) составила 1,33 г/см³;

– плотность почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой и установленным устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) составила 1,29 г/см³.

Полученные результаты показывают, что после прохода серийного трактора с шарнирно-сочленённой рамой без установленного устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез) плотность почвы увеличилась на 9 % по сравнению с контрольным участком поля (до прохода трактора). После прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой и установленным устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) плотность почвы возросла на 5,7 % по сравнению с контрольным участком поля (до прохода трактора).

Результаты исследований по изменению твёрдости почвы:

– твёрдость почвы до прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой составляла 34,4...48,2 МПа;

– твёрдость почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой без устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез) составила 58,6...61,5 МПа;

– твёрдость почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой и установленным устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) составила 55,0...59,2 МПа.

В результате проведенных исследований выявлено, что после прохода серийного трактора с шарнирно-сочленённой рамой без установленного устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез) твердость почвы возросла на 6,1 % по сравнению с твёрдостью почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой и фронтального прокалывателя-щелереза.

При этом глубина колеи после прохода трактора с установленным устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) снизилась на 9,6 % по сравнению с серийным машинно-тракторным агрегатом без устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез).

Для подтверждения теоретических исследований по перераспределению нагрузки между ведущими мостами трактора с шарнирно-сочленённой рамой была проведена производственная проверка. С этой целью были выполнены экспериментальные исследования по определению параметров нагружающего воздействия гидроцилиндра на раму устройства и перераспределение вертикальной нагрузки между осями колесного полурамного энергетического средства.

При проведении экспериментальных исследований трактор с шарнирно-сочленённой рамой и установленным на него устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) расположили на подготовленную ровную твердую площадку, выбранную методом инклинометрирования. Под прокалывающими элементами устройства установили весоизмерительный комплекс – весы платформенные электронные марки МВСК(В) – и произвели нагружение гидроцилиндром с фиксацией максимальных показателей:

– давление в нагружающем гидроцилиндре – 16 МПа;

– нагрузка на прокалывающий орган – 12,9 кН;

– выход штока гидроцилиндра – 0,64 м.

Исследованиями установлено, что с увеличением длины выхода штока гидроцилиндра произошло изменение нагрузки на рабочий орган устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез):

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,55 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 4,2 кН;

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,57 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 5,7 кН;

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,60 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 9,8 кН;

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,62 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 10,8 кН

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,64 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 12,9 кН.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено влияние длины выхода штока гидроцилиндра на нагрузку, приходящуюся на ведущие мосты трактора с шарнирно-сочленённой рамой.

Изменение нагрузки на передний мост трактора с шарнирно-сочленённой рамой составило:

– при выходе штока гидроцилиндра на 0,55 м – 67,3кН;

– при выходе штока гидроцилиндра на 0,57 м – 65,9кН;

- при выходе штока гидроцилиндра на 0,60 м – 64,6 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,62 м – 62,8 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,64 м – 60,5 кН.

Таким образом, при работе предлагаемого устройства (фронтального прокальвателя-щелера) силовая нагрузка на передний мост снизилась с 67,3 кН до 60,5 кН.

Изменение нагрузки на задний мост трактора с шарнирно-сочленённой рамой составило:

- при выходе штока гидроцилиндра на 0,55 м – 33,1 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,57 м – 35,5 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,60 м – 36,1 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,62 м – 36,9 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,64 м – 38,6 кН.

Таким образом, при работе предлагаемого устройства (фронтальный прокальватель-щелера) увеличение силовой нагрузки на задний мост варьировалось с 33,1 кН до 38,6 кН.

При расчёте энергетических показателей по методике, предложенной Всероссийским научно-исследовательским институтом механизации сельского хозяйства [9], учитывались методические, нормативные и справочные материалы, а также результаты хронометражных наблюдений за работой машинно-тракторного агрегата – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокальватель-щелера).

В основу расчёта энергетической эффективности было положено то, что операция по подготовке почвы для посевных работ и щелерание проводят по отдельности, а использование предлагаемого устройства (фронтальный прокальватель-щелера) совмещает эти две операции.

На основе вышеизложенной методики была проведена топливно-энергетическая оценка, полученные данные обобщены в таблице 1.

Анализируя топливно-энергетическую оценку проведенных исследований (таблица 2), можно сделать вывод, что использование машинно-тракторного агрегата – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокальватель-щелера) – позволяет достичь экономию полных энергозатрат в размере 1841,53 МДж/га. В пересчёте на рублёвый эквивалент экономический эффект составил 418,43 руб/га.

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что повысить эффективность процесса щелерания почвы можно путём использования многофункционального машинно-тракторного агрегата, а также за счёт совмещения двух операций – щелерание и подготовка почвы. Полученные результаты по влиянию длины выхода штока гидроцилиндра на глубину прокальвания почвенного горизонта показывают, что при увеличении длины выхода штока гидроцилиндра с 0,55...0,64 м можно изменять глубину прокальвания почвенного горизонта с 0,33...0,42 м, это позволяет уменьшить влажность поверхностного слоя почвы и создать оптимальные условия для роста и развития растений. При работе предложенного устройства происходит перераспределение нагрузки между ведущими мостами трактора: снижение нагрузки на передний мост с 67,3 кН до 60,5 кН и увеличение её на задний мост с 33,1 кН до 38,6 кН. Все это позволило уменьшить плотность почвы после прохода трактора на 7,2 %, твёрдость почвы – на 6,1 %, глубину колеи – на 9,6 %. Использование предлагаемого устройства в агрегате с БДМ-6х4п позволило получить экономию полных энергозатрат в размере 1841,53 МДж/га.

Список источников

1. Министерство сельского хозяйства Амурской области, официальный сайт [Электронный ресурс]: URL <http://www.agroamur.ru/> (дата обращения: 02.02.2024).
2. Surin R., Shchitov S., Kuznetsov E., Evdokimov V. Raising the efficiency of using tillage machines based on a semi-frame tractor // AIP

Таблица 1 – Топливо-энергетическая оценка проведенных исследований, МДж/га

Показатель	«Кировец» + ПГЧ-3	«Кировец» + БДМ-6х4п	«Кировец» + БДМ-6х4п + устройство
Прямые затраты, МДж	1749,64	1196,29	1243,72
Затраты живого труда, МДж	0,48	0,45	0,45
Суммарная энергоёмкость МТА, МДж	146,29	258,83	265,99
Совокупные энергозатраты, Дж/га	1896,41	1455,28	1510,16
Экономия полных энергозатрат, МДж/га	-	-	1841,53

conference proceedings : PROCEEDINGS OF THE IV INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERNIZATION, INNOVATIONS, PROGRESS: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022. 2024. P. 030002. DOI: 10.1063/5.0196715. EDN: GVJEVK.

3. Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Поликутина Е.С. Результаты экспериментальных исследований по определению влияния устройства для перераспределения сцепного веса на тяговые свойства и ходовую систему колёсного трактора // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 95-98. EDN: UMKOJJ.

4. Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones / R. Surin [et al.] // E3S Web of Conferences: XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023). 2023. P. 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101002. EDN: AXOZIN.

5. Application of multi-criteria in the selection of running systems for regional use of tractors in agriculture/R. Surin[etal.]//E3SWebofConferences: International Scientific and Practical Conference «Development and Modern Problems of Aquaculture» (AQUACULTURE 2022). 2023. Vol. 381. P. 01032. DOI: 10.1051/e3sconf/202338101032. EDN: AKPDOD.

6. Investigation of the motion parameters of technological complexes using a quaternion data fixation apparatus / S. Us [et al.] // E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023. 2023. Vol. 402. P. 03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202340203002. EDN: MKOHKD.

7. Expanding the technological capabilities of energy facilities in the zones of «risk farming» / A.S. Vtornikov [et al.] // XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022». 2023. Vol. 574. P. 99-105. EDN: OIKKPM.

8. Фронтальный прокалыватель-щелев-рез: пат. 2769449 Рос. Федерация. № 2; 769; 449; С1 / Сурин Р.О., Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Пано-ва Е.В., Евдокимов В.Г., Муратов А.А.; заявл. 11.01.2021; опублик. 31.03.2022, Бюл. № 10. 6 с. EDN: EQSCET.

9. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / А.Н. Никифоров [и др.]. М: ВИМ, 1995. 95 с. EDN: ULVKJN.

10. Improving the Efficiency of Wheel-Wheeling Machine-Tractor Units in Areas with Special Natural and Climatic Conditions / A. Slepnev [et al.] // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural

Innovation Systems. 2022. Vol. 353. P. 36-43. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8_5. EDN: JWRGEN.

11. Повышение тягового усилия, развиваемо-го колёсным энергетическим средством, на почвах с высокой степенью липкости / Р.О. Сурин [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. 2023. № 64. С. 48-52. EDN: VUFEVT.

12. Хафизов К.А., Халиуллин Ф.Х. Пути по-вышения эффективности использования машин-но-тракторных агрегатов // Техника и оборудова-ние для села. 2015. № 10. С. 20-22. EDN: UQFKLR.

13. Направления исследований для снижения силы сопротивления движению колёсного энер-гетического средства / Е.В. Маршанин [и др.] // Аграрный научный журнал. 2023. № 7. С. 147-152. DOI: 10.28983/asj.y2023i7pp147-152. EDN: BMXJJE.

14. Применение современных цифровых при-боров для фиксации параметров движения сель-скохозяйственных агрегатов / С.С. Ус [и др.] // Аграрный научный журнал. 2023. № 8. С. 147-154. EDN: ZBRLHT.

15. Повышение производительности прице-пных агрегатов почвообрабатывающих машин / Е.С. Поликутина [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 3 (51). С. 71-77. EDN: YPCPOU.

16. Optimization of the width of the transportation corridor of tractor trains for agricultural purpose / A.N. Kushnarev [et al.] // Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021): E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. Vol. 262. P. 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201004. EDN: GOXSUL.

17. Оптимальные параметры трактора и пахотного агрегата по различным критери-ям оптимизации / К.А. Хафизов [и др.] // Аграр-ный научный журнал. 2023. № 1. С. 155-160. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp155-160. EDN: ZIUWJV.

18. Influence of natural production conditions on efficient operation of wheel tractors / A.A. Shuravin [et al.] // BIO Web of Conferences: Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021). 2022. Vol. 42. P. 03003. DOI: 10.1051/bioconf/20224203003. EDN: RPKJZC.

19. Влияние установки прокалывателя-щелева-теля на распределение нормальных реакций почвы и нагрузки на движители полурамного трактора / Р.О. Сурин, С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов [и др.] // Агро-ЭкоИнфо. 2021. № 2 (44). EDN: JMXGCA.

20. Улучшение реализации тягового усилия мо-ноблочного трактора с колёсной формулой 4К2 / Е.С. Поликутина [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 2 (50). С. 71-78. EDN: GCYCKG.

References

1. Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Amurskoi oblasti, ofitsial'nyi sait [Ministry of Agriculture of the Amur Region, official website] [Internet]: URL <http://www.agroamur.ru/> (Accessed: 02.02.2024). (In Russ).
2. Surin R., Shchitov S., Kuznetsov E., Evdokimov V. Raising the efficiency of using tillage machines based on a semi-frame tractor. *AIP conference proceedings : PROCEEDINGS OF THE IV INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERNIZATION, INNOVATIONS, PROGRESS: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022*. 2024; 030002. DOI: 10.1063/5.0196715. EDN: GVJEVK.
3. Shchitov S.V., Kuznetsov E.E., Polikutina E.S. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy po opredeleniyu vliyaniya ustroystva dlya pereraspredeleniya stsepnogo vesa na tyagovye svoystva i khodovuyu sistemu kolesnogo traktora [Results of experimental studies to determine the influence of a device for redistributing the adhesion weight on the traction properties and running gear of a wheeled tractor]. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2015; 29(10): 95-98. EDN: UMKOJJ. (In Russ).
4. Surin R. et al. Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones. *E3S Web of Conferences: XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023)*. 2023; 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101002. EDN: AXOZIN.
5. Surin R. et al. Application of multi-criteria in the selection of running systems for regional use of tractors in agriculture. *E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference «Development and Modern Problems of Aquaculture» (AQUACULTURE 2022)*. 2023; (381): 01032. DOI: 10.1051/e3sconf/202338101032. EDN: AKPDOD.
6. Us S. et al. Investigation of the motion parameters of technological complexes using a quaternion data fixation apparatus. *E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023*. 2023; (402): 03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202340203002. EDN: MKOHKD.
7. Vtornikov A.S. et al. Expanding the technological capabilities of energy facilities in the zones of «risk farming». *XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022»*. 2023; (574): 99-105. EDN: OIKKPM.
8. Frontal'nyi prokalyvatel'-shchelerez [Frontal piercer-slot cutter]: Pat. 2769449 Rus. Federation. No 2 769 449 C1 / Surin R.O., Kuznetsov E.E., Shchitov S.V., Panova E.V., Evdokimov V.G., Muratov A.A.; dec. 11 January 2021; publ. 31 March 2022, Bull. No 10. EDN: EQSCET. (In Russ).
9. Nikiforov A.N. et al. *Metodika energeticheskogo analiza tekhnologicheskikh profsessov v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve* [Methodology of energy analysis of technological processes in agricultural production]. Moscow: VIM; 1995: 95. EDN: ULVKJN. (In Russ).
10. Slepnev A. et al. Improving the Efficiency of Wheel-Wheeling Machine-Tractor Units in Areas with Special Natural and Climatic Conditions. *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems*. 2022; (353): 36-43. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8_5. EDN: JWRGEN.
11. Surin R.O. et al. Povyshenie tyagovogo usiliya, razvivaemogo kolesnym energeticheskim sredstvom, na pochvakh s vysokoi stepen'yu lipkosti [Increasing the traction force developed by a wheeled power vehicle on soils with a high degree of stickiness]. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2023; (64): 48-52. EDN: VUF EVT. (In Russ).
12. Khafizov K.A., Khaliullin F.Kh. Puti povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya mashinno-traktornykh agregatov [Ways to improve the efficiency of using machine and tractor units]. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2015; (10): 20-22. EDN: UQFKLR. (In Russ).
13. Marshanin E.V. et al. Napravleniya issledovaniy dlya snizheniya sily soprotivleniya dvizheniyu kolesnogo energeticheskogo sredstva [Research Directions for Reducing the Force of Resistance to the Movement of Wheeled Power Vehicles]. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; (7): 147-152. DOI: 10.28983/asj.y2023i7pp147-152. EDN: BMXJJE. (In Russ).
14. Us S.S. et al. Primeneniye sovremennykh tsifrovyykh priborov dlya fiksatsii para-metrov dvizheniya sel'skokhozyaistvennykh agregatov [Application of modern digital devices for recording the parameters of movement of agricultural units]. *Agrarian Scientific Journal*. 2023; (8): 147-154. EDN: ZBRLHT. (In Russ).
15. Polikutina E.S. et al. Povyshenie proizvoditel'nosti pritsepnykh agregatov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Increasing the productivity of trailed units of soil-cultivating machines]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2024; 3(51): 71-77. EDN: YPCPOU. (In Russ).
16. Kushnarev A.N. et al. Optimization of the width of the transportation corridor of tractor trains for agricultural purpose. *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA2021): E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference*. 2021; (262): 01004.

DOI: 10.1051/e3sconf/202126201004. EDN: GOXSUL. (In Russ).

17. Khafizov K.A. et al. Optimal'nye parametry traktora i pakhotnogo agregata po razlichnym kriteriyam optimizatsii [Optimal parameters of the tractor and plowing unit according to various optimization criteria]. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; (1): 155-160. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp155-160. EDN: ZIUWJV. (In Russ).

18. Shuravin A.A. et al. Influence of natural production conditions on efficient operation of wheel tractors. *BIO Web of Conferences: Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021)*. 2022; (42): 03003. DOI: 10.1051/bioconf/20224203003. EDN: RPKJZC.

19. Surin R.O., Shchitov S.V., Kuznetsov E.E. Vliyaniye ustanovki prokalyvatelya-shchelevatelya na raspredeleniye normal'nykh reaktsii pochvy i nagruzki na dvizhiteli poluramnogo traktora [The influence of the installation of a piercer-slotter on the distribution of normal soil reactions and loads on the propellers of a semi-frame tractor]. *AgroEkoInfo*. 2021; 2(44). EDN: JMXGCA. (In Russ).

20. Polikutina E.S. et al. Uluchsheniye realizatsii tyagovogo usiliya monoblochnogo traktora s kolesnoi formuloi 4K2 [Improving the implementation of traction force of a monoblock tractor with a 4K2 wheel arrangement]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2024; 2(50): 71-78. EDN: GCYCKG. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Щитов С.В. – научное руководство, концепция исследования, участие в разработке экспериментов и их реализация.

Кривуца З.Ф. – написание исходного текста.

Поликутина Е.С. – развитие методологии.

Бурмага А.В. – итоговые выводы, участие в разработке экспериментов и их реализация.

Сурин Р.О. – участие в разработке экспериментов и их реализация.

AUTHORCONTRIBUTION

Shchitov, S.V. – scientific guidance; research concept, participation in the development of experiments and their implementation.

Krivutsa, Z.F. – writing the original text.

Polikutina, E.S. – development of methodology.

Burmaga, A.V. – final conclusions, participation in the development of experiments and their implementation.

Surin, R.O. – participation in the development of experiments and their implementation.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

Информация об авторах

С.В. Щитов – доктор технических наук, профессор; AuthorID 534354.

З.Ф. Кривуца – доктор технических наук, профессор; AuthorID 356759.

Е.С. Поликутина – кандидат технических наук; AuthorID 976828.

А.В. Бурмага – доктор технических наук; AuthorID 552396.

Р.О. Сурин – аспирант; AuthorID 1105037.

Information about the author

S.V. Shchitov – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 534354.

Z.F. Krivutsa – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 356759.

E.S. Polikutina – Candidate of Technical Sciences; AuthorID 976828.

A.V. Burmaga – Doctor of Technical Sciences; AuthorID 552396.

R.O. Surin – Postgraduate Student; AuthorID 1105037.

Статья поступила в редакцию 26.11.2024; одобрена после рецензирования 02.12.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 26.11.2024; approved after reviewing 02.12.2024; accepted for publication 17.12.2024.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСИ СТАТЬИ

Общие требования к рукописям научных статей, представляемым для публикации в журнале «Вестник Курганской ГСХА»

Статьи или научные обзоры должны быть написаны на актуальную тематику и отражать достижения современной науки по направлениям:

- 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство
- 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
- 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства
- 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса
- 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса

Автор представляет статью, заявку и сопроводительное письмо организации в электронном варианте на адрес электронной почты vestnik_kgcsxa@kgsu.ru или kgshavestnik@mail.ru.

В сопроводительном письме организации должны быть отражены название статьи, авторы, подтверждение авторских прав и оригинальности представленных материалов.

Требования к объёму статьи и ее оформлению

- Объём статьи: не менее 0,5 п.л. (20 тыс. знаков с пробелами без списка источников, что соответствует 10 стр.) и не более 1 п.л. (40 тыс. знаков с пробелами, что соответствует 20 стр.);
- Поля: правое, левое, верхнее, нижнее – 2 см;
- Шрифт: Times New Roman;
- Кегель: 14;
- Интервал: 1,5;
- Форматирование: по ширине с абзацным отступом 1,25 см, автоматическая расстановка переносов.

Структура и оформление статьи

- 1 УДК (шифр библиотечной Универсальной Десятичной Классификации).
- 2 Код ВАК.
- 3 Название статьи (ПРОПИСНЫМИ БУКВАМИ).
- 4 Имя, отчество, фамилия автора (авторов) полностью.
- 5 Полное название организации, в которой работает (учится) автор или авторы, местоположение организации, страна, e-mail автора (ов), AuthorID автора (ов), ORCID автора (ов).
- 6 Количество авторов – не более 5.
- 7 Расширенная аннотация объемом **не более 250 слов** с указанием конкретных результатов исследования.
- 8 Ключевые слова, словосочетания (до 10 слов).
- 9 Информация, указанная в п. 3-7, на английском языке.
- 10 Текст статьи с ключевым иллюстративным материалом (таблицы, рисунки). Статья должна содержать обязательные части, начинающиеся выделенными полужирным шрифтом словами: **Введение. Материалы и методы. Результаты исследований и их обсуждение. Заключение. Список источников.**
- 11 Уникальность представленного текста – не менее 75 % (самоцитирование – не более 30 %).
- 12 Список источников, который должен быть оформлен согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008 и содержать не менее 15 источников, в т.ч.:
 - доля ссылок на публикации в журналах из ядра РИНЦ за последние 8 лет должны составлять не менее 50 % списка источников;
 - доля ссылок на журналы, включенные в базы данных Web of Science и Scopus за последние 8 лет, должна составлять не менее 30 % (список журналов, включенных в базу данных Scopus, можно посмотреть по ссылке [http://elsevier.com/locate/scopus/](http://elsevier.com/locate/scopus) или <https://www.scopus.com/>, список журналов, включенных в базу данных Web of Science можно посмотреть по ссылке <https://mjl.clarivate.com/>).
 - ссылки на публикации из периодических изданий – журналов за последние 5 лет, диссертации, авторефераты, патенты и иные источники – не более 30 %.
 - ссылки на собственные работы авторов статьи не должны превышать 30 % от списка источников.
- 13 Список источников на английском языке (References), оформленный по стилю VancouverStyle.

Требование к аннотации

Аннотация должна в одном абзаце отражать содержание статьи. Главное требование к аннотации – информативность. В аннотации должны быть продемонстрированы особенности и достоинства статьи, ее научная новизна и уникальность. Аннотация должна включать следующие элементы: цель; методика; результаты; выводы.

Английский вариант аннотации не должен быть механическим переводом русского варианта. Необходимо выстраивать аннотацию с учетом лексики и грамматики английского языка.

Объем аннотации должен быть не более 250 слов. Текст аннотации не должен повторять название и текст статьи. **Авторская аннотация призвана выполнять функцию независимого от статьи источника информации и не должна дословно дублировать текст статьи!**

Более подробно с требованиями к оформлению рукописи статьи можно ознакомиться на сайте ФГБОУ ВО Курганский государственный университет (<https://kgsu.ru>), раздел «Наука и инновации», подраздел «Научный журнал «Вестник Курганской ГСХА».

