

ВЕСТНИК ВЯТСКОГО ГАТУ

2026
№ 3 (29)



**Показатели продуктивности
ярового ячменя в зависимости
от сочетания удобрений и
способов основной обработки
почвы**

**Показатели клинико-
гематологического статуса и
естественной резистентности
телят при неспецифической
катаральной бронхопневмонии**

**Генетическая дифференциация
племенных популяций
кыргызского горного меринуса на
основе вариабельности ядерной
ДНК**

**Применение технологий ИИ для
автоматизированной сортировки
клубней картофеля по размеру и
выявления дефектов на основе
компьютерного зрения**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК ВЯТСКОГО ГАТУ

ISSN 2782-3172

2026

ВЕСТНИК ВЯТСКОГО ГАТУ

ISSN 2782-3172

Периодичность выпуска журнала – 4 номера в год

Язык издания – русский, английский

Версия издания: электронное сетевое

Уникальный префикс Crossref: 10.66783

Научный журнал «Вестник Вятского ГАТУ» в версии сетевого издания основан в 2018 году, первые выпуски были изданы в 2019 г. Журнал зарегистрирован как средство массовой информации (регистрационный номер серия Эл № ФС77-73936 от 12.10.2018), включен в библиографическую базу данных Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и размещается на официальном сайте издания <https://v-vgsha.info/>

Учредитель журнала: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет» (ИНН 4346012790), Кировская область, г. Киров, Российская Федерация.

Юридический адрес учредителя: 610017, Кировская область, г. Киров, Октябрьский проспект, 133

В журнале «Вестник Вятского ГАТУ» публикуются научные статьи, научные обзоры, научные рецензии, отражающие результаты фундаментальных и прикладных исследований по следующей тематике, соответствующей научным специальностям, по которым присуждаются ученые степени:

4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

4.2. Зоотехния и ветеринария

4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки)

4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)

4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки)

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки)

4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки)

4.3. Агроинженерия и пищевые технологии

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:

Главный редактор – Шабалин Николай Владимирович, кандидат исторических наук, врио ректора

Заместитель главного редактора – Курбанов Рустам Файзулхакович, доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации машин и технологического оборудования

Ответственный редактор – Шалина Надежда Викторовна, кандидат экономических наук, руководитель управления по научной работе и инновациям

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Агрономия

4.1.1 Общее земледелие и растениеводство

- Васин Василий Григорьевич – доктор сельскохозяйственных наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ (г. Самара)
- Коконов Сергей Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (г. Ижевск)
- Корепанова Елена Витальевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент (г. Ижевск)

4.1.2 Селекция, семеноводство и биотехнология растений

- Пономарев Сергей Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, заслуженный работник сельского хозяйства Республики Татарстан (г. Казань)
- Уткина Елена Игоревна – доктор сельскохозяйственных наук (г. Киров)
- Щенникова Ирина Николаевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, член-корреспондент РАН (г. Киров)

4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

- Алёшин Матвей Алексеевич – доктор биологических наук, доцент (г. Пермь)
- Завалин Алексей Анатольевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН (г. Москва)
- Копысов Иван Яковлевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (г. Киров)
- Леднёв Андрей Викторович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент (г. Ижевск)
- Лукин Сергей Михайлович – доктор биологических наук, почетный работник науки и высоких технологий РФ (г. Владимир)
- Персикова Тамара Филипповна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (г. Горки, Республика Беларусь)

Зоотехния и ветеринария

4.2.1 Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология

- Джакупов Исатай Тусупович – доктор ветеринарных наук, профессор (г. Астана, Республика Казахстан)
- Жданова Ольга Борисовна – доктор биологических наук, доцент (г. Киров)
- Ивашкевич Олег Петрович – доктор ветеринарных наук, профессор (г. Витебск, Республика Беларусь)
- Кузьмич Ростислав Григорьевич – доктор ветеринарных наук, профессор (г. Витебск, Республика Беларусь)
- Прудников Виктор Сергеевич – доктор ветеринарных наук, профессор (г. Витебск, Республика Беларусь)
- Филатов Андрей Викторович – доктор ветеринарных наук, профессор (г. Киров)
- Яшин Анатолий Викторович – доктор ветеринарных наук, профессор (г. Санкт-Петербург)

4.2.2 Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность

- Бабина Мария Павловна – доктор ветеринарных наук, профессор (г. Витебск, Республика Беларусь)
- Семенов Владимир Григорьевич – доктор биологических наук, профессор (г. Чебоксары)
- Софронов Владимир Георгиевич – доктор ветеринарных наук, профессор (г. Казань)

4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных

- Ермолина Светлана Александровна – доктор ветеринарных наук, доцент (г. Киров)
- Красочко Ирина Александровна – доктор ветеринарных наук, профессор (г. Витебск, Республика Беларусь)
- Созинов Василий Аркадьевич – доктор ветеринарных наук, доцент (г. Киров)

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства

- Воробьева Светлана Леонидовна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (г. Ижевск)
- Головин Александр Витальевич – доктор биологических наук, профессор (г. Подольск)
- Косолапов Владимир Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН (г. Лобня)
- Салеева Ирина Павловна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН (г. Санкт-Петербург)
- Сычёва Лариса Валентиновна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (г. Пермь)
- Харламов Анатолий Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный работник сельского хозяйства РФ (г. Оренбург).

4.2.5 Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных

- Абдельманова Александра Сергеевна – доктор биологических наук (г. Подольск)
- Ахметов Тахир Мунавирович – доктор биологических наук, профессор (г. Казань)
- Беляев Александр Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный работник сельского хозяйства РФ (г. Волгоград)
- Герасименко Вадим Владимирович – доктор биологических наук, профессор (г. Самара)
- Измайлович Инесса Брониславовна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент (г. Горки, Республика Беларусь)
- Карликова Галина Геннадьевна – доктор сельскохозяйственных наук (г. Подольск)
- Кузякина Людмила Ивановна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (г. Киров)
- Петухов Валерий Лаврентьевич – доктор биологических наук, профессор (г. Новосибирск)
- Шайдуллин Радик Рафаилович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент (г. Казань)

Агроинженерия

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

- Алатырев Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный работник образования Чувашской Республики, почетный работник АПК РФ (г. Чебоксары)
- Курбанов Рустам Файзулхакович – доктор технических наук, профессор (г. Киров)
- Мохнаткин Виктор Германович – доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный работник АПК РФ, заслуженный работник АПК Кировской области (г. Киров)
- Романюк Вацлав – доктор технических наук, профессор (г. Варшава, Польша)
- Савиных Петр Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник науки и высоких технологий РФ (г. Киров)

СОДЕРЖАНИЕ

Агрономия

Тупикова Е. И. Показатели продуктивности ярового ячменя в зависимости от сочетания удобрений и способов основной обработки почвы	9
--	---

Зоотехния и ветеринария

Скорнякова О. О., Костюкова Ю. С. Показатели клинико-гематологического статуса и естественной резистентности телят при неспецифической катаральной бронхопневмонии	19
Примбетова Л. Д., Чортонбаев Т. Д. Влияние паратипических факторов и отбора на молочную продуктивность коров	25
Усманова Е. Н. Взаимосвязь экстерьера и хозяйственно-полезных качеств голштинских коров	33
Чортонбаев Т. Д., Белек уулу Э. Генетическая дифференциация племенных популяций кыргызского горного мериноса на основе вариабельности ядерной ДНК	42
Чортонбаев Т. Д., Белек уулу Э. Молекулярно-генетический ландшафт вариабельности ядерной ДНК овец кыргызского горного мериноса как основа сохранения генетических ресурсов	52
Чортонбаев Т. Д., Белек уулу Э. Цифровые технологии в оценке генетической дифференциации племенных популяций кыргызского горного мериноса на основе вариабельности ядерной ДНК	62

Агроинженерия

Горобей В. П., Старчиков С. С., Москалевич В. Ю. К определению влияния опорной поверхности специального гусеничного трактора на деформационные показатели почвы	76
Иванов А. Г., Гадлгареев М. Ф., Галимов А. И. Применение технологий искусственного интеллекта для автоматизированной сортировки клубней картофеля по размеру и выявления дефектов на основе компьютерного зрения	88
Сидоров О. О., Юнусов Г. С. Исследование влияния формы и размера отверстий на равномерность распределения рабочего раствора	95
Сидоров О. О., Юнусов Г. С. Математическое моделирование процесса распределения удобрений с учётом скорости движения агрегата и частоты вращения рабочих органов	106
Сидоров О. О., Юнусов Г. С. Сравнительный анализ эффективности поверхностного и внутрипочвенного внесения жидких удобрений малогабаритной техникой	114
Шевченко А. В. Влияние конструктивных параметров в экспериментальной установке на напорно-энергетические показатели насоса	126
Шепелев С. Д., Рыбалченко К. Ю., Кузнецов Н. А. Оценка машиноиспользования технологических машин	139

Имя в науке

Ренгартен Г. А., Черемисинов М. В. Учёный-садовод земли Вятской – Столбов Алексей Николаевич (к 105-летию со дня рождения)	148
--	-----

CONTENTS

Agronomy

Elena I. Tupikova. Productivity indicators of spring barley depending on the combination of fertilizers and methods of basic tillage	9
--	---

Animal science and veterinary medicine

Olga O. Skornyakova, Yulia S. Kostyukova. Indicators of clinical and hematological status and the natural resistance of calves with nonspecific catarrhal bronchopneumonia	19
Lazzat D. Primbetova, Tyrgoot Dz. Chortonbaev. The impact of paratypic factors and selection on dairy productivity in cows	25
Elena N. Usmanova. The relationship between the exterior and economic characters of Holstein cows	33
Tyrgoot Dz. Chortonbaev, Esenbek Belek uulu. Genetic differentiation of breeding populations of Kyrgyz mountain merino based on nuclear DNA variability	42
Tyrgoot Dz. Chortonbaev, Esenbek Belek uulu. Molecular genetic landscape of nuclear DNA variability in Kyrgyz mountain merino as the basis for genetic resources conservation	52
Tyrgoot Dz. Chortonbaev, Esenbek Belek uulu. Digital technologies for assessing genetic differentiation of breeding populations of Kyrgyz mountain merino based on nuclear DNA variability	62

Agroengineering

Vasily P. Gorobey, Sergey S. Starchikov, Vadim Yu. Moskalevich. Determining the effect of the ground-contact surface of a special crawler tractor on soil pressure and maneuverability	76
Alexey G. Ivanov, Marat F. Gadlgareev, Albert I. Galimov. Applying artificial intelligence technologies for automated size-based sorting of potato tubers and defect detection using computer vision	88
Oleg O. Sidorov, Gubeidulla S. Yunusov. Investigating the influence of the shape and size of nozzle holes on the working solution distribution uniformity	95
Oleg O. Sidorov, Gubeidulla S. Yunusov. Mathematical modeling of the fertilizer distribution process, taking into account the movement speed of the unit and the rotation frequency of the working parts	106
Oleg O. Sidorov, Gubeidulla S. Yunusov. Comparative analysis of the surface and intrasoil application of liquid fertilizers effectiveness using small-sized equipment	114
Artem V. Shevchenko. Design parameters influence in the experimental setup on the pressure and energy performance of the pump	126
Sergey D. Shepelev, Konstantin Yu. Rybalchenko, Nikolai A. Kuznetsov. Evaluating the mechanical use of technological machines in sowing work	139

Name in science

Grigory A. Rengarten, Mikhail V. Cheremisinov. Aleksey Nikolayevich Stolbov – Vyatka horticulturist (dedicated to the 105th anniversary of his birth)	148
---	-----

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Уважаемые коллеги, авторы и читатели!



Рад представить вам очередной выпуск журнала «Вестник Вятского ГАТУ», в котором отражены результаты научных исследований по актуальным направлениям современной аграрной науки. В этот номер вошли статьи, посвященные вопросам растениеводства, лечения и разведения высокопродуктивных животных, технического обеспечения сельскохозяйственного производства.

Публикуемые материалы зарубежных и российских учёных не только расширяют теоретические представления по важным аспектам функционирования агропромышленного комплекса, но и содержат рекомендации по использованию полученных результатов в дальнейших научных исследованиях и практической деятельности.

Все статьи, размещаемые на страницах нашего журнала, проходят строгий отбор в рамках процедуры рецензирования членами редакционной коллегии, приглашёнными экспертами или высококвалифицированными специалистами по тематике исследования. Объективная экспертная оценка поступающих научных произведений гарантирует распространение и тиражирование обоснованных научных идей и взглядов, апробированных методов и моделей.

Благодарю авторов за доверие, рецензентов – за кропотливую работу, а читателей – за интерес к нашему изданию. Надеюсь, материалы этого номера будут полезны в вашей профессиональной деятельности и послужат стимулом для новых идей.

*Главный редактор, врио ректора
Вятского государственного
агротехнологического университета*

Николай Владимирович ШАБАЛИН

АГРОНОМИЯ

Научная статья
УДК 631.559:633.161
DOI 10.66783/2782-3172.2026.50.50.001

ПОКАЗАТЕЛИ ПРОДУКТИВНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОЧЕТАНИЯ УДОБРЕНИЙ И СПОСОБОВ ОСНОВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Елена Игоревна Тупикова

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, Белгород, Россия
elenabag133@gmail.com

Аннотация

Комплекс хозяйственно-ценных характеристик, которыми обладает сорт ярового ячменя Благодар, определяет необходимость поиска наиболее оптимального сочетания агротехнических приемов в условиях изменяющегося климата с целью реализации полного потенциала продуктивности. Полученные материалы свидетельствуют о том, что вспашка под посев изучаемой культуры является способом повышения урожая и качества зерна. Отмечается высокая эффективность глубокой отвальной обработки почвы, так как в контрастных погодных условиях урожайность ярового ячменя оставалась стабильно высокой и составляла 5,08 и 5,67 т/га в 2024 и 2025 годах соответственно. Для достижения высокого урожая зерна ярового ячменя (6,10–6,33 т/га) рекомендуется помимо проведения вспашки, внесение основного удобрения в дозе 20 кг действующего вещества/га, внесение аммиачной селитры под предпосевную культивацию в дозе 30 кг д.в./га, припосевное внесение азофоски в дозе 10 кг д.в./га, а также проведение листовых подкормок микроудобрениями SOLAR Старт и SOLAR Универсал в дозе 2,5 кг/га. Данная обработка обеспечивала наибольшее накопление белка в зерне ярового ячменя (11,29–11,40 %) и в целом валовый сбор белка (0,58–0,64 т/га). Однако стоит отметить, что сбор белка при близких к оптимальным, гидротермических условиях среды при использовании мелкой обработки почвы не уступал значениям, полученным по традиционной вспашке.

Ключевые слова: яровой ячмень, вспашка, дискование, минеральное удобрение, аммиачная селитра, микроудобрение, урожайность, содержание белка в зерне

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств автора

Для цитирования: Тупикова Е. И. Показатели продуктивности ярового ячменя в зависимости от сочетания удобрений и способов основной обработки почвы // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 9–18. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.50.50.001.

PRODUCTIVITY INDICATORS OF SPRING BARLEY DEPENDING ON THE COMBINATION OF FERTILIZERS AND METHODS OF BASIC TILLAGE

Elena I. Tupikova

Belgorod State Agricultural University named after V.Y. Gorin, Belgorod, Russia
elenabag133@gmail.com

Abstract

The set of economically valuable characteristics possessed by the spring barley variety 'Blagodar' determines the need to find the most optimal combination of agrotechnical practices under changing climate conditions in order to unlock the full productivity potential. The obtained materials indicate that traditional plowing before sowing the studied crop is a method of increasing yield and grain quality. The high efficiency of deep tillage is noted, as under contrasting weather conditions, the yield of spring barley remained consistently high, amounting to 5.08 and 5.67 tons per hectare in 2024 and 2025, respectively. To achieve a high grain yield of spring barley (6.10–6.33 t/ha), it is recommended, in addition to plowing, to apply the main fertilizer at the rate of 20 kg of active substance /ha, to apply ammonium nitrate before pre-sowing cultivation at the rate of 30 kg/ha of active substance, to apply azofoska at the time of sowing at the rate of 10 kg of active substance /ha, and to carry out foliar feeding with microfertilizers of the SOLAR Start and Universal brands at the rate of 2.5 kg/ha. This treatment ensured the highest protein accumulation in the grain of spring barley (11.29–11.40 %) and, overall, the highest protein yield (0.58–0.64 t/ha). However, it is worth noting that the protein yield under the conditions close to optimal, under hydrothermal environmental conditions, when using shallow soil cultivation, was not inferior to the values obtained with traditional plowing.

Keywords: spring barley, plowing, disk harrowing, mineral fertilizer, ammonium nitrate, micronutrient fertilizer, yield, protein content in grain

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Tupikova EI. Productivity indicators of spring barley depending on the combination of fertilizers and methods of basic tillage. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):9–18. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.50.50.001. (In Russ.).

Введение. Урожайность и качество сельскохозяйственных культур зависят от множества факторов, основными из которых являются оправданные мероприятия по обработке почвы, а также обеспечение оптимального уровня минерального питания возделываемых культур [2, 7, 10, 12].

На сегодняшний день получение качественной сельскохозяйственной продукции является приоритетной задачей в сфере АПК [15]. Зерно ярового ячменя имеет определенную ценность для различных отраслей и требует определенного состава и характеристик, которые будут соответствовать направлению использования [1, 11, 14].

Новый зернофуражный сорт ярового ячменя Благодар, оригинатором которого является ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, широко распространен среди сельхозтоваропроизводителей [8]. Благодаря своим ценным характеристикам, а именно высокой устойчивости к засухе, полеганию и пыльной головне, обеспечению стабильно высоких урожаев даже в не самых благоприятных условиях среды [4, 15], Благодар массово культивируется на территории юго-западной части Центрально-Черноземного региона. Задача получения зерна с высоким содержанием белка наравне с высокой урожайностью является весьма актуальной и требует совершенствования технологии его возделывания на основе непрерывного поиска наиболее оптимального сочетания агротехнических приемов [3, 9, 13].

Материалы и методы. Исследования проводились в многолетнем стационаре на базе Научно-практического центра земледелия и селекции ФГБОУ ВО Белгородского ГАУ в 2024–2025 гг.

Цель исследований – выявить наиболее оптимальное взаимовлияние способа основной обработки почвы и различных вариантов применения удобрений в формировании урожая зерна ярового ячменя сорта Благодар для обеспечения высокого сбора белка в условиях юго-запада Центрально-Черноземного региона.

Предшественником ярового ячменя выступал подсолнечник. Почва опытного участка – чернозем типичный, среднемощный, среднесуглинистый на лессовидном суглинке. Содержание гидролизующего азота в почве составляло 161 мг/кг, подвижного фосфора

217 мг/кг, обменного калия 104 мг/кг. Обеспеченность почвы гумусом соответствовала 4,8 %. Степень кислотности почвы была на уровне 5,6. Площадь опытной делянки 21 м², повторность опыта трехкратная.

Опыт – двухфакторный. Фактор А (способы основной обработки почвы): вспашка (ПОН-4+1) на глубину 20-22 см (контроль) и дискование (ДМ-4х2), глубина которого составляла 14–16 см. Фактор В включал в себя первый, контрольный вариант, который также выступал в качестве фона, где проводилось внесение азофоски в дозе 30 кг действующего вещества/га (N₂₀P₂₀K₂₀ кг д.в./га в основное внесение и N₁₀P₁₀K₁₀ кг д.в. /га при посеве). На фоне проводилось предпосевное внесение аммиачной селитры в дозе 30 кг действующего вещества/га, что соответствовало второму варианту опыта. Обработка ярового ячменя микроудобрениями SOLAR по вегетации в фазы кушения (SOLAR Старт в дозе 2,5 кг/га, 15:30:15 + 2 MgO, МЭ) и флагового листа (SOLAR Универсал в дозе 2,5 кг/га, 18:18:18 + 3 MgO, МЭ) проводилась на фоне, соответствуя третьему варианту опыта. На последнем варианте опыта изучалось комплексное применение предпосевного азотного удобрения и листовых микроэлементных подкормок на фоне (N₃₀P₃₀K₃₀).

Несмотря на то, что норма вносимых удобрений не настолько высокая, чтобы говорить об обеспечении высокого накопления белка в зерне ячменя, данная система удобрений разработана именно с учетом особенностей сорта. Так, практический опыт показывает, что повышение уровня удобренности приводит к полеганию посевов. Благодаря, поэтому используемая в опыте норма удобрений призвана обеспечить формирование устойчивого стеблестоя при используемой агротехнике. Данный уровень белка в зерне ячменя (10,6–11,9 %), по официальным данным Госсорткомиссии, является характерным для сорта (до 11,8 %). Дальнейшие исследования ведутся. На производственных посевах Научно-практического центра в текущем году при урожайности порядка 30-40 ц/га содержание белка в зерне достигает 12,9 %. Вегетация ярового ячменя протекала в еще более контрастных условиях, чем в предыдущие годы исследований, что позволяет говорить о высокой зависимости данного показателя от метеоусловий территории и урожайности. Еще одним фактором, обуславливающим такую невысокую норму удобрений, является экономическая составляющая производства. Применение повышенных доз под яровой ячмень часто не оправдывается и ведет к снижению рентабельности. Таким образом, с учетом всех вышеописанных особенностей применяемые дозы удобрений в опыте являются оправданными.

Результаты и обсуждение. Существенный интерес в отношении продуктивности сельскохозяйственного производства представляет снижение негативного воздействия нестабильных погодных условий. Новые сорта основных культур характеризуются высокой устойчивостью к различным стрессам, однако зачастую отсутствие грамотного подхода к агротехнике их возделывания сводит все положительные свойства к минимуму, особенно в условиях сильной изменчивости климата. Посев ярового ячменя проводился в начале апреля, в условиях дефицита влаги, о чем свидетельствует величина ГТК (0,4) (рисунок 1). Дальнейшие фазы развития культуры проходили при наличии ярко выраженных различий гидротермического коэффициента за годы исследований. В 2024 году начало вегетации ярового ячменя протекало в условиях недостатка влаги согласно классификации Г. Т. Селянинова. В следующий месяц обеспеченность влагой растений культуры была оптимальной, ГТК составил 1,1. В конце вегетации ярового ячменя величина гидротермического коэффициента снова снизилась до 0,1. Период вегетации культуры в следующем году характеризовался прямо противоположными гидротермическим условиям среды: ГТК в мае и июле составил соответственно 1,2 и 0,9, в июне – 0,5. Такое отчетливое различие погодных условий позволило установить значимость влияния изучаемых факторов на продуктивность ярового ячменя сорта Благодар в контрастных условиях среды.

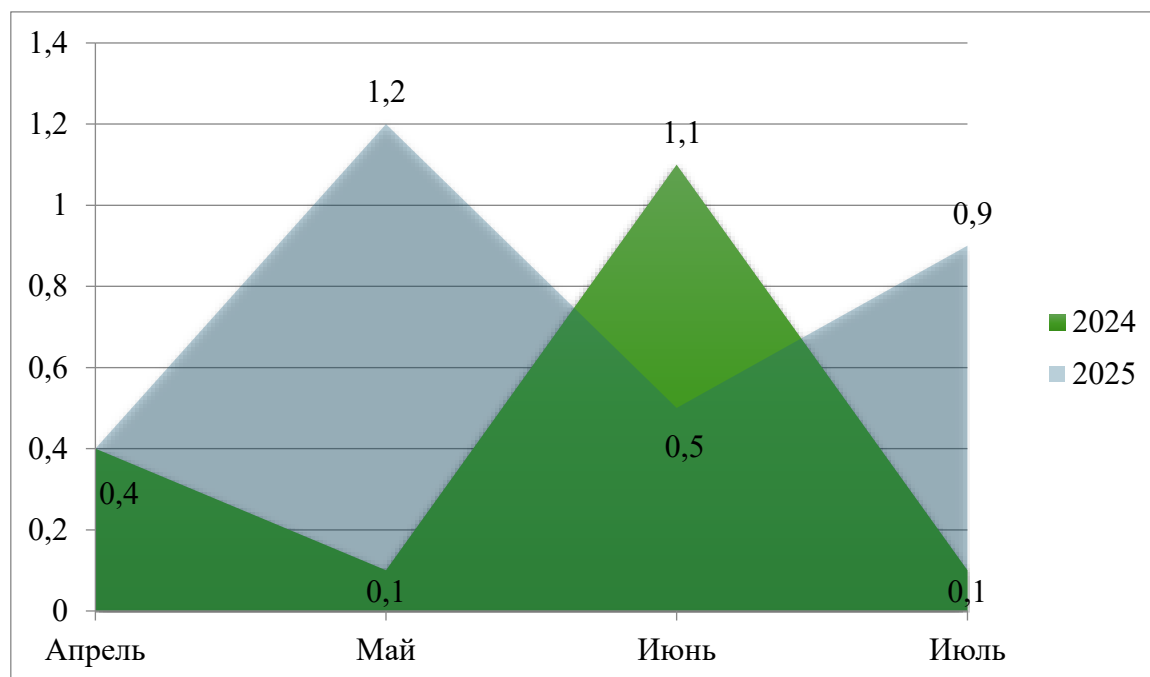


Рисунок 1. Гидротермический коэффициент в период вегетации ярового ячменя сорта Благодар (2024–2025 гг.)

Полученная урожайность изучаемого сорта позволяет судить об эффективности проведения осенней вспашки в условиях 2024 года. В среднем по опыту сбор зерна при использовании отвальной глубокой обработки составлял 5,08 т/га, а по дискованию – 3,64 т/га. Разница между данными показателями соответствовала 1,44 т/га ($HC_{P0,5} = 1,10$ т/га), или 39,6 %.

Оценивая влияние удобрений на урожайность ярового ячменя, было установлено, что в первый год проведения исследований, который отличался сложными погодными условиями, нехваткой влаги и избытком тепла, следует отметить получение положительного эффекта. По вспашке внесение аммиачной селитры на фоне не позволило добиться достоверной прибавки к контролю, а урожайность была на уровне 5,01 т/га (рисунок 2). Эффект от применения листовых подкормок микроудобрениями SOLAR Старт и SOLAR Универсал был значимым – прибавка к контролю составляла 1,55 т/га ($HC_{P0,5} = 1,50$ т/га). Использование на фоне всех изучаемых видов удобрений в комплексе показало самый сильный эффект в отношении урожайности. В данном случае прибавка к контролю составляла 2,27 т/га, а сбор зерна находился на самом высоком уровне в текущем году и соответствовал 6,10 т/га.

По дискованию существенные различия отмечались только при комплексном применении минеральных удобрений – прибавка к контролю составила 55 %, тем не менее достигнутый уровень урожайности намного уступал варианту при использовании вспашки – 1,61 т/га, или 36 %.

В условиях 2025 года урожайность ярового ячменя сорта Благодар была выше, чем в предыдущий год проведения исследований, а между изучаемыми способами основной обработки почвы достоверных различий не наблюдалось. В среднем по опыту при использовании вспашки сбор зерна составил 5,67 т/га, что превысило данный показатель в предыдущем году на 11,6 %, а по дискованию эти значения равнялись 5,74 т/га и 57,7 % соответственно. Такое изменение урожайности, особенно по дискованию, во многом связано с метеоусловиями. В более благоприятных условиях среды мелкая обработка почвы способна обеспечить высокий урожай ярового ячменя, на уровне вспашки.

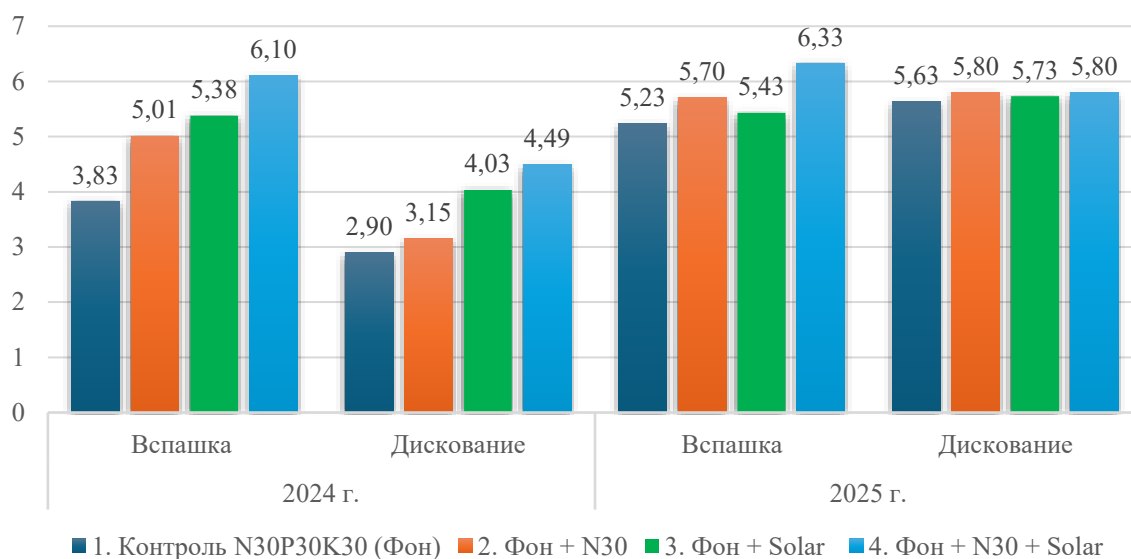


Рисунок 2. Урожайность ярового ячменя сорта Благодар в зависимости от способа основной обработки почвы и удобрений, т/га

Для полного понимания эффективности и целесообразности проведения дискования под яровой ячмень необходим более глубокий анализ. Мнения об использовании мелкой основной обработки почвы под яровые колосовые культуры разноречивы. С одной стороны, она способствует сохранению продуктивной почвенной влаги, а также поддержанию целого комплекса свойств, определяющих плодородие почвы. С другой стороны, именно мелкая обработка почвы приводит к уплотнению пахотного слоя, концентрации макроэлементов в верхнем слое почвы, снижая тем самым качество минерального питания возделываемых культур особенно в засушливые годы. Поэтому, говоря об эффективности того или иного агроприема, необходимо рассматривать проблему комплексно [6].

В 2025 году достоверных прибавок урожайности ярового ячменя к контролю в зависимости от применяемых удобрений получено не было. Эффективность обработки микроэлементными комплексами зависит прежде всего от того, насколько оптимальны условия среды, а так как использование данных препаратов проводилось в условиях низкой обеспеченности влагой, то и эффект получен соответственный. По вспашке на третьем варианте опыта, где применялись микроудобрения на фоне, прибавка к контролю была наименьшей, а урожайность составила 5,43 т/га. Наиболее выраженный результат зафиксирован от применения аммиачной селитры и микроудобрений в комплексе, так как здесь урожайность была рекордной за период исследований и составила 6,33 т/га. Возможно, получение такого значения связано с интенсивным использованием растениями культуры весеннего удобрения, чему способствовали благоприятные гидротермические условия среды.

В подтверждение вышеизложенного свидетельствует анализ доли участия изучаемых видов удобрений в повышении урожайности ячменя по годам. Преимущество вспашки в неблагоприятных условиях весны 2024 года наблюдалось при применении аммиачной селитры, вклад которой в рост урожайности составил 30,8 %, тогда как по дискованию это значение находилось на уровне 8,6 % (рисунок 3). Микроудобрения одинаково эффективно использовались в процессе формирования урожая, и доля их участия составила 38,9–40,5 % по дискованию и вспашке. Однако, несмотря на невысокую долю участия аммиачной селитры при использовании дискования, совместное ее применение с микроудобрениями, позволило добиться наибольшей по опыту в текущем году эффективности – 59,3 и 54,8 % по вспашке и дискованию соответственно.

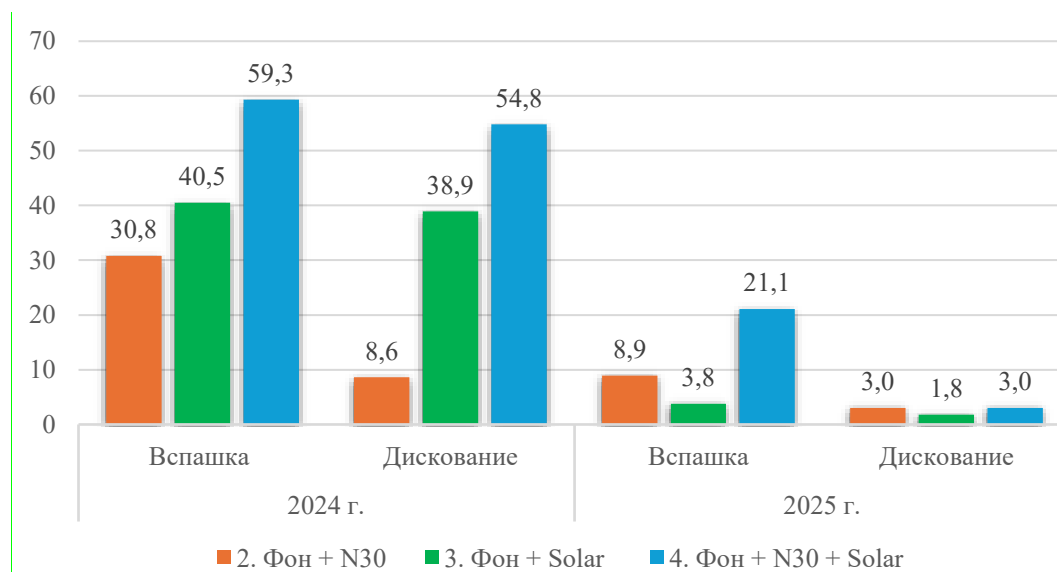


Рисунок 3. Доля участия удобрений в формировании урожая ярового ячменя сорта Благодар, %

Развиваясь в более благоприятных погодных условиях, которые складывались в 2025 году, растения ярового ячменя менее интенсивно отзывались на вносимые удобрения. Доля их участия была ниже, чем в предыдущий год проведения исследований в среднем по вспашке на 32,2 % и на 31,5 % по дискованию. Отчетливо прослеживается рост доли участия аммиачной селитры, а не микроудобрений в отличие от предыдущего года. Если вернуться к характеристике ГТК, то можно заметить, что этому способствовали его оптимальные значения в весенний период, что могло обусловить лучшее усвоение питательных элементов, поступивших с удобрениями. Следует выделить вспашку, так как здесь доля участия удобрений была на порядок выше в отличие от дискования. А именно, вклад в повышение урожайности аммиачной селитры по вспашке превышал дискование на 66,3 %, микроудобрений – на 52,6 %, а применения данных удобрений в комплексе – на 85,8 %.

Содержание белка в зерне ярового ячменя, как известно, зависит от множества факторов, среди которых важное значение имеют погодные условия, режим увлажнения, обеспеченность доступными формами азота, а также способ обработки почвы [5]. Комплекс данных условий, а именно их оптимум для возделываемых культур, является первоочередной причиной качества получаемой сельскохозяйственной продукции.

В 2024 году не зафиксировано достоверных прибавок содержания белка в зерне ярового ячменя по отношению к контрольному варианту, или фону ($N_{30}P_{30}K_{30}$), а комплексное применение удобрений на четвертом варианте опыта отрицательно сказывалось на данном показателе по вспашке и приводило к незначительному его росту по дискованию (рисунок 4).

При использовании вспашки отмечена достоверная прибавка содержания белка в зерне ярового ячменя в сравнении с дискованием, которая составляла 0,51 %, что соответствовало величине наименьшей существенной разницы. Это позволяет говорить о создании более оптимальных почвенных условий для развития яровой колосовой культуры и накоплению белка именно за счет отвальной обработки почвы.

Более благоприятные условия обеспеченности влагой и теплом в 2025 году способствовали потреблению растениями культуры азота весенних удобрений и активному росту содержания белка в зерне ячменя. А именно, достоверные прибавки доли белка в зерне отмечены на варианте опыта с использованием аммиачной селитры на фоне. По вспашке прибавка к контролю составляла 0,84 %, а по дискованию 0,50 % при НСР для данного фактора – 0,48 %. В среднем по вспашке содержание белка в зерне (11,3 %) было выше по сравнению

с дискованием, различие соответствовало $HC_{P05} = 0,34 \%$. Очевидно, что вспашка способствует большему накоплению белка независимо от погодных условий.

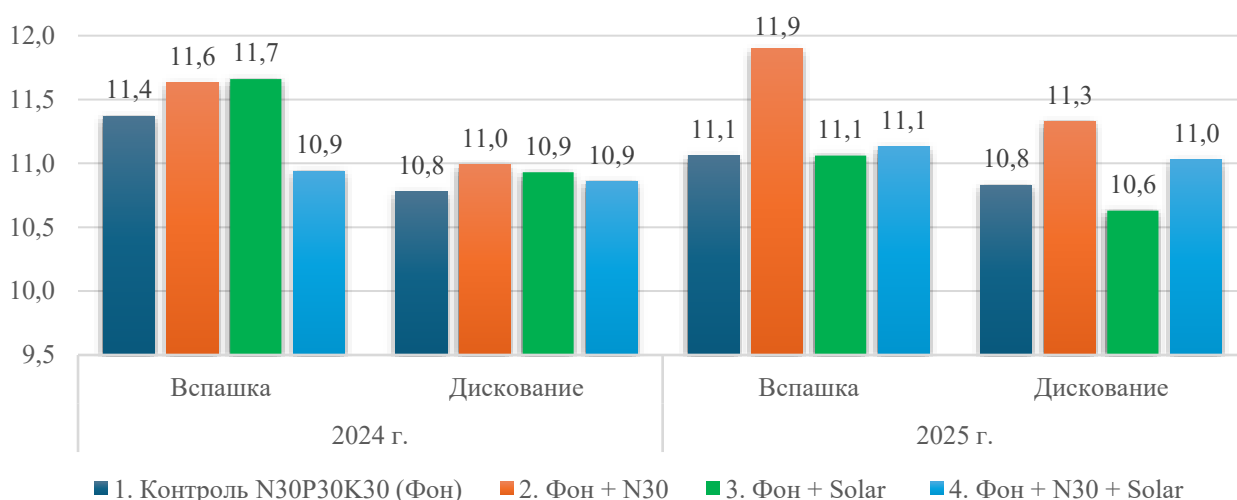


Рисунок 4. Содержание белка в зерне ярового ячменя сорта Благодар в зависимости от способа основной обработки почвы и удобрений

Целевой показатель для фуражных сортов ячменя – валовой сбор белка – является интегральным, зависящим и от урожайности зерна, и от содержания в нем белка. В 2024 году установлено значимое преимущество вспашки: при ее использовании сбор белка в среднем по опыту составил 0,58 т/га, тогда как по дискованию – 0,40 т/га (рисунок 5). Различия между данными значениями составили 0,18 т/га при наименьшей существенной разнице для данного фактора 0,12 т/га. Сбор белка стабильно возрастал с увеличением насыщенности уровня удобрённости, следовательно, в отношении данного показателя отмечена максимальная эффективность применения аммиачной селитры и микроудобрений на фоне в комплексе. Учитывая разнонаправленное влияние изучаемых факторов на урожайность и содержание белка, следует отметить, что определяющая роль в его уровне принадлежит урожайности.

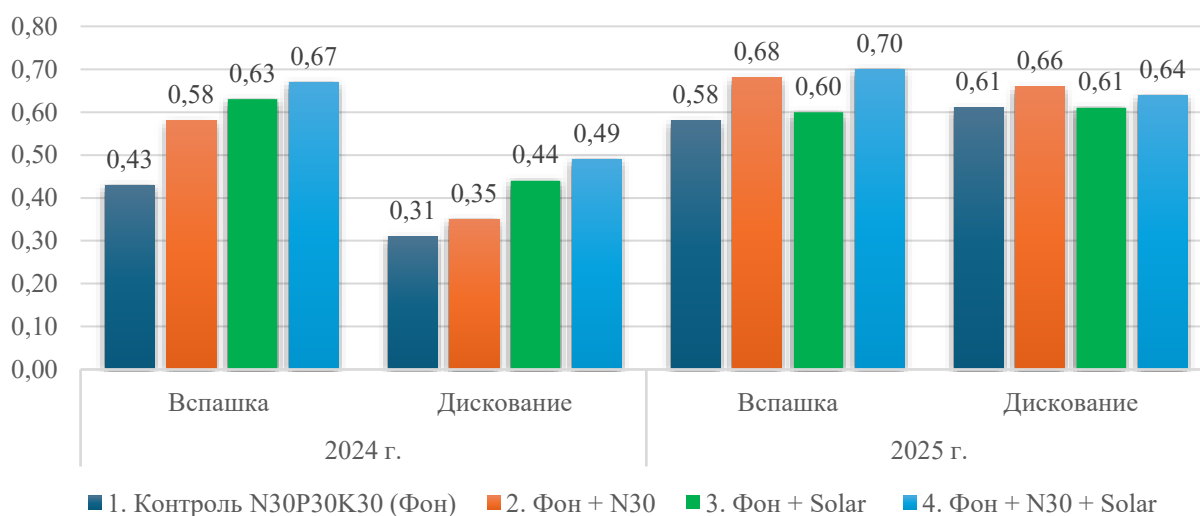


Рисунок 5. Валовой сбор белка зерном ярового ячменя сорта Благодар в зависимости от способа основной обработки почвы и удобрений

В 2025 году изучаемый показатель был выше, чем в предыдущий год, на 10,3 % по вспашке и на 57,5 % по дискованию. Наибольший валовой сбор белка по обоим изучаемым

способам основной обработки почвы зафиксирован на вариантах, где применялась аммиачная селитра как отдельно на фоне, так и совместно с микроудобрениями. Таким образом, лишний раз можно наглядно убедиться в действенном использовании растениями ярового ячменя сорта Благодар аммиачной селитры при оптимальной обеспеченности влагой и теплом.

Заключение. Вспашка под посев яровых зерновых культур является базовым решением всех первоочередных задач сельхозтоваропроизводителей, о чем наглядно свидетельствуют полученные материалы. Хочется отметить, что осенняя отвальная обработка почвы способствовала повышению адаптивности ярового ячменя сорта Благодар, так как независимо от погодных условий урожайность оставалась стабильно высокой и составляла в среднем 5,08–5,67 т/га. При использовании мелкой осенней обработки почвы урожайность культуры в неблагоприятных условиях среды резко падала – до 3,64 т/га в среднем за первый год исследований; в 2025 году, когда ячмень был более обеспечен влагой и теплом в критические периоды, она выросла до 5,74 т/га и была сравнима с урожайностью, полученной при использовании вспашки в качестве основной обработки.

Наибольшему накоплению белка в зерне ярового ячменя, а также валовому сбору белка способствовала вспашка. Однако стоит отметить, что сбор белка при близких к оптимальным условиям среды при использовании мелкой обработки почвы не уступал вспашке.

Проведение осенней вспашки, применение общей дозы в 30 кг д.в. /га и предпосевное внесение аммиачной селитры в дозе 30 кг д.в. /га, а также проведение листовых подкормок микроудобрениями марки SOLAR Старт и SOLAR Универсал приводит к увеличению урожайности ярового ячменя сорта Благодар в условиях юго-запада ЦЧР.

Список источников

1. Бакаева Н. П., Васильев А. С., Кутилкин В. Г. Влияние систем обработки почвы и удобрений на структуру урожая и качество зерна ярового ячменя // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2. С. 3–9.
2. Дубовик Д. В., Дубовик Е. В., Морозов А. Н. Влияние способа основной обработки почвы на плодородие почвы при возделывании ярового ячменя // Агрохимический вестник. 2023. № 3. С. 30–35.
3. Дудкина Т. А., Долгополова Н. В. Влияние уровней интенсификации на засоренность посевов и урожайность продовольственного зерна ячменя в условиях Курской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4 (60). С. 21–26.
4. Адаптивность нового сорта многорядного ярового ячменя Благодар / Н. В. Дуюн, С. Н. Зюба, О. В. Григоров, П. В. Андреев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2022. № 3 (35). С. 141–148.
5. Ермолаев С. Н., Смуров С. И., Наумкин В. Н. Влияние предшественников и возрастающих доз минеральных удобрений, урожайность и качество зерна ярового ячменя в условиях Центрально-Черноземного региона // Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки : материалы XIX молодежной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. СПб. : Lulu Press, 2020. С. 67–71.
6. Ермолаев С. Н., Смуров С. И., Наумкин В. Н. Агроприемы повышения урожайности и качества зерна ярового ячменя в условиях Юго-Западной части ЦЧР // Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее : материалы XXIV Международной научно-производственной конференции. Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, 2020. Т. 2. С. 9–10.
7. Несмеянова М. А., Дедов А. В., Коротких Е. В. Влияние приемов основной обработки почвы на ее плодородие, засоренность посевов и урожайность ячменя // Земледелие. 2022. № 4. С. 8–11.

8. Влияние элементов биологизации и химизации на продуктивность ярового ячменя в юго-Западной части ЦЧР / Д. И. Панарин, П. В. Андреев, Д. А. Михайлов, Н. В. Дуюн // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2025. № 2 (46). С. 54–60.
9. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А. Влияние метеоусловий, основной обработки темно-серой лесной почвы на урожайность ячменя в Северном Зауралье // Земледелие. 2025. № 1. С. 24–29.
10. Савенков В. П. Эффективность различных систем основной обработки почвы при возделывании в севообороте масличных и зерновых культур в лесостепи Центрального федерального округа России // Земледелие. 2021. № 7. С. 35–39.
11. Сеничев Е. И., Тевченков А. А. Урожайность и формирование элементов структуры урожая ярового ячменя при отвальной и минимальной обработке почвы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024. Т.16, № 2. С. 84–89.
12. Сорокина М. В., Лобков В. Т., Бобкова Ю. А. Сравнительная оценка агротехнологий разной интенсивности и урожайность полевых культур в условиях Орловской области // Вестник аграрной науки. 2022. № 3 (96). С. 59–64.
13. Сорокина М. В. Влияние интенсивности обработки почвы на продуктивность звена зернового севооборота в условиях северной лесостепи ЦЧЗ // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 5. С. 6–11.
14. Тупикова Е. И., Котлярова Е. Г., Колесниченко Е. Ю. Реализация потенциальной продуктивности ячменя в нестабильных метеоусловиях Центрально-Чернозёмного района // Аграрный научный журнал. 2026. № 9. С. 58–65.
15. Реакция ячменя на средства интенсификации и приёмы обработки чернозёмных почв в северо-восточном регионе Черноземья / А. В. Шабалкин, М. К. Драчева, В. А. Воронцов [и др.] // Земледелие. 2022. № 6. С. 41–45.

References

1. Bakayeva NP, Vasil'yev AS, Kutilkin VG. The influence of tillage and fertilizer systems on the crop structure and grain quality of spring barley. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2023;(2):3–9. (In Russ.).
2. Dubovik DV, Dubovik YeV, Morozov AN. The effect of the method of basic tillage on soil fertility in the cultivation of spring barley. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2023;(3):30–35. (In Russ.).
3. Dudkina TA, Dolgopolova NV. The effect of intensification levels on crop contamination and yield of food grain of barley in the conditions of Kursk region. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2022;(4):21–26. (In Russ.).
4. Duyun NV, Zyuba SN, Grigorov OV, Andreyev PV. Adaptability of a new variety of multi-row spring barley Blagodar. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2022;(3):141–148. (In Russ.).
5. Yermolayev SN, Smurov SI, Naumkin VN. Vliyaniye predshestvennikov i vozrastayushchikh doz mineral'nykh udobreniy, urozhaynost' i kachestvo zerna yarovogo yachmenya v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona = Influence of precursors and increasing doses of mineral fertilizers, yield and quality of spring barley grain in the conditions of the Central Chernozem region. In: *Shag v budushcheye: teoreticheskiye i prikladnyye issledovaniya sovremennoy nauki: materialy XIX molodozhnoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchonykh* = Step into the future: theoretical and applied research of modern science: proceedings of the XIX youth international scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. Saint-Petersburg: Lulu Press Publishing; 2020. P. 67–71. (In Russ.).
6. Yermolayev SN, Smurov SI, Naumkin VN. Agropriyemy povysheniya urozhaynosti i kachestva zerna yarovogo yachmenya v usloviyakh Yugo-Zapadnoy chasti TSCHR = Agricultural practices for increasing the yield and quality of spring barley grain in the Southwestern part of the Central black earth region. In: *Innovatsionnyye resheniya v agrarnoy nauke – vzglyad v budushcheye*:

materialy XXIV mezhdunarodnoy nauchno-proizvodstvennoy konferentsii = Innovative solutions in agricultural Science – a look into the future: proceedings of the XXIV international scientific and industrial conference. Vol. 2. Mayskiy: Belgorodskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V. YA. Gorina Publishing; 2020. P. 9–10. (In Russ.).

7. Nesmeyanova MA, Dedov AV, Korotkikh YeV. The effect of basic tillage techniques on soil fertility, crop contamination, and barley yield. Zemledeliye. 2022;(4):8–11. (In Russ.).
8. Panarin DI, Andreyev PV, Mikhaylov DA, Duyun NV. The influence of the elements of biologization and chemicalization on the productivity of spring barley in the Southwestern part of the Central black earth region. Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. 2025;(2):54–60. (In Russ.).
9. Perfil'yev NV, V'yushina OA. The influence of weather conditions, the main treatment of dark gray forest soil on the yield of barley in the Northern Urals. Zemledeliye. 2025;(1):24–29. (In Russ.).
10. Savenkov VP. The effectiveness of various basic tillage systems for crop rotation of oilseeds and cereals in the forest-steppe of the Central Federal District of Russia. Zemledeliye. 2021;(7):35–39. (In Russ.).
11. Senichev YeI, Tevchenkov AA. Yield and formation of elements of the structure of the spring barley crop with dump and minimal tillage. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. 2024;16(2):84–89.
12. Sorokina MV, Lobkov VT, Bobkova YuA. Comparative assessment of agricultural technologies of different intensity and field crop yields in Orel region. Vestnik agrarnoy nauki. 2022;(3):59–64. (In Russ.).
13. Sorokina M.V. The influence of tillage intensity on the productivity of the grain crop rotation link in the conditions of the northern forest-steppe of the Central black earth zone. Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2024;(5):6–11. (In Russ.).
14. Tupikova EI, Kotlyarova EG, Kolesnichenko EYu. Realization of the potential productivity of barley under unstable weather conditions in the Central black earth region. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2026;(9):58–65. (In Russ.).
15. Shabalkin AV, Dracheva MK, Vorontsov VA, et al. Reaction of barley to the means of intensification and methods of treatment of chernozem soils in the northeastern region of the Chernozem region. Zemledeliye. 2022;(6):41–45. (In Russ.).

Информация об авторе

Тупикова Елена Игоревна, младший научный сотрудник отдела земледелия Научно-практического центра земледелия и селекции, аспирант, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», ул. Вавилова, д. 1, г. Белгород, Российская Федерация, 308503
e-mail: elenabag133@gmail.com

Information about the author

Tupikova Elena Igorevna, junior researcher at the Agriculture department of the Research and Practical Center for Agriculture and Breeding, postgraduate student, Belgorod State Agricultural University named after V.Y. Gorin, 1 Vavilova Street, Belgorod, 308503, the Russian Federation
e-mail: elenabag133@gmail.com

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: the author declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received	10.09.2026
одобрена после рецензирования / approved after reviewing	23.09.2026
принята к публикации / accepted for publication	24.09.2026

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

Научная статья
УДК 636.2:619:616-053.2
DOI 10.66783/2782-3172.2026.84.51.002

ПОКАЗАТЕЛИ КЛИНИКО-ГЕМАТОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА И ЕСТЕСТВЕННОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ ТЕЛЯТ ПРИ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ КАТАРАЛЬНОЙ БРОНХОПНЕВМОНИИ

Ольга Олеговна Скорнякова¹, Юлия Сергеевна Костюкова^{1,2}

¹Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

²Общество с ограниченной ответственностью «Курчумское», Кировская область, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ольга Олеговна Скорнякова, olymur@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы патогенеза неспецифической катаральной бронхопневмонии у телят молочного периода выращивания в условиях промышленного молочного комплекса по результатам клинического статуса и расширенного лабораторного анализа красной и белой крови. В 90 % случаях в крови больных телят установлены признаки острого воспалительного процесса и микроцитарной гипохромной анемии. При анализе интегральных гематологических индексов неспецифической резистентности зарегистрировано увеличение индекса Кребса в 2,1 раза при одновременном снижении лейкоцитарного индекса.

Ключевые слова: телята, бронхопневмония, симптомы, общий анализ крови, лейкограмма, индекс Кребса, лейкоцитарный индекс

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет средств Министерства сельского хозяйства Российской Федерации в рамках тематического плана научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» (регистрационный номер темы 1025032800195-4-4.3.1;4.2.1)

Для цитирования: Скорнякова О. О., Костюкова Ю. С. Показатели клинико-гематологического статуса и естественной резистентности телят при неспецифической катаральной бронхопневмонии // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 19–24. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.84.51.002.

INDICATORS OF CLINICAL AND HEMATOLOGICAL STATUS AND THE NATURAL RESISTANCE OF CALVES WITH NONSPECIFIC CATARRHAL BRONCHOPNEUMONIA

Olga O. Skornyakova¹, Yulia S. Kostyukova^{1,2}

¹Vyatka State Agrotechnological University Kirov, Russia

²Limited Liability Company “Kurchumskoe”, Kirov Region, Russia

Corresponding author: Olga O. Skornyakova, olymur@yandex.ru

Abstract

The article examines the pathogenesis of non-specific catarrhal bronchopneumonia in calves during the milk-rearing period under the conditions of an industrial dairy complex, based on the results of clinical status and an extended laboratory analysis of red and white blood cells. In 90 % of cases, the blood of sick calves showed signs of an acute inflammatory process and microcytic hypochromic anemia. When analyzing integral hematological indices of non-specific resistance, an increase in the Krebs index by a factor of 2.1 was recorded, along with a simultaneous decrease in the leukocyte index.

Keywords: calves, bronchopneumonia, symptoms, complete blood count, leukogram, Krebs index, leukocyte index

Funding: the study, the results of which form the basis of this article, was funded by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation as part of the thematic plan for research work at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vyatka State Agrotechnological University” (registration number of the topic: 1025032800195-4-4.3.1;4.2.1)

For citation: Skornyakova OO, Kostyukova YuS. Indicators of clinical and hematological status and the natural resistance of calves with nonspecific catarrhal bronchopneumonia. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):19–24. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.84.51.002. (In Russ.).

Введение. Одним из основных заболеваний у молодняка молочного периода выращивания в условиях крупных молочных комплексов является неспецифическая катаральная бронхопневмония.

Заболевание характеризуется поражением бронхов и долей легких с накоплением в их просвете воспалительного экссудата (слизи, гноя) и является полиэтиологическим заболеванием. Возникновению способствует снижение резистентности организма телят первого месяца жизни в результате нарушения условий содержания и кормления. Переохлаждение телят при выращивании их в неотапливаемой телячьей деревне способствует развитию респираторной патологии у молодняка [4, 5]. Неспецифическая катаральная бронхопневмония – сезонное респираторное заболевание. Максимальный процент заболевших телят приходится на зимние месяцы и составляет 14,2–16 % [3]. Процент заболевших неспецифической бронхопневмонией телят, выращиваемых в условиях телячьей деревни, составляет 50-60 % [3, 5, 8, 9, 10]. Тяжелое течение заболевания наблюдается в 40–50 % случаях, а летальность – 30,1 % от числа заболевших [2, 3].

Одним из критериев оценки естественной (неспецифической) резистентности организма животного как показателя клеточного звена иммунитета является анализ лейкоцитарного профиля и интегральных гематологических показателей [1, 7].

Материалы и методы. Работа выполнена в условиях ООО «Курчумское» Кировской области с общим поголовьем 950 голов дойного стада. Хозяйство занимается разведением крупного рогатого скота черно-пестрой породы и производством сырого молока. Телята первого месяца жизни выращиваются в условиях неотапливаемой телячьей деревни. Молозиво выпаивается только в течение первого дня жизни.

Для анализа состояния неспецифической резистентности телят, больных катаральной бронхопневмонией, изучали клинические признаки и подсчитывали интегральные гематологические индексы: индекс Кребса (ИК) и лейкоцитарный индекс (ЛИ) [1]. Кровь от животных брали в вакуумные пробирки в утренние часы до кормления животных. Всего исследовано 20 телят 2–3-недельного возраста. Общий анализ крови и подсчет лейкоцитарной формулы осуществляли на гематологическом анализаторе HumaCount 30TS, индексы рассчитывали по выведенным лейкограммам. Стандартное отклонение по группе вычисляли в программе Microsoft Excel 2010, критерий Стьюдента – ASD.

Результаты исследований. При клиническом обследовании 20 больных телят в 90 % случаях (n = 18) выявлены следующие признаки бронхопневмонии в среднем, характеризующие среднюю и тяжелую форму заболевания: ЧСС – 96,9 уд/мин, ЧДД – 54,1,

$T = 39,8^{\circ}\text{C}$. Сухой лающий или глухой низкий кашель, бело-желтые или полупрозрачные носовые истечения. Уши опущены у большинства животных, шерсть взъерошена, сырая на голове, скрежет зубами. Пьют медленно, не всю норму молока. Наблюдается снижение упитанности.

При осмотре 2 телят (10 %) выявлены признаки бронхопневмонии в среднем, характеризующие более легкую форму заболевания: ЧСС – 82,5 уд/мин, ЧДД – 49, $T = 38,7^{\circ}\text{C}$. Кашель редкий, сухой, переходящий во влажный. Односторонние полупрозрачные истечения из носа. Аппетит несколько снижен.

При гематологическом обследовании телят, больных средней и тяжелой формой бронхопневмонии (опытная группа 1), в периферической крови содержание гемоглобина составило $91,06 \pm 6,27$ г/л, эритроцитов – $9,36 \pm 1,12 \times 10^{12}$ /л, MCV – $26,87 \pm 2,26$ фл., MCH – $9,83 \pm 1,04$ пг, MCHC – $355,11 \pm 20,11$ г/л, уровень гематокрита – $27,59 \pm 0,23\%$ (таблица 1). Количество гемоглобина, MCV, MCH и уровень гематокрита были ниже физиологической нормы, что свидетельствует о развитии микроцитарной гипохромной анемии. У 10 % животных опытной группы 2 установлено, что количество гемоглобина, MCV, MCH и уровень гематокрита были выше на 20,8; 14,8; 3,3 и 2,9 %, чем у телят первой группы. Однако следует отметить также низкие значения MCV и MCH на уровне $30,85 \pm 2,76$ фл. и $10,15 \pm 0,49$ пг соответственно.

Таблица 1. Показатели общего анализа красной крови телят, $M \pm m$

Показатель	Референсные значения	Опытная группа 1, n = 18	Опытная группа 2, n = 2
RBCx10 ¹² /л	5,0–10,0	$9,36 \pm 1,12$	$9,93 \pm 0,72$
HGB, г/л	90–120	$91,06 \pm 6,27$	$110,00 \pm 1,41$
HCT, %	28–46	$27,59 \pm 0,23$	$30,46 \pm 0,37$
MCV, фл.	37–51	$26,87 \pm 2,26$	$30,85 \pm 2,76$
MCH, пг	13–18	$9,83 \pm 1,04$	$10,15 \pm 0,49$
MCHC, г/л	330–370	$355,11 \pm 20,11$	$391,00 \pm 41,01$

Проведенные лабораторные исследования некоторых показателей естественной резистентности в крови больных бронхопневмонией телят свидетельствуют о развитии в их организме воспалительного процесса и снижении общей резистентности в сторону дефицита гуморального звена иммунитета (таблица 2).

Таблица 2. Показатели естественной резистентности телят, $M \pm m$

Показатель	Референсные значения	Опытная группа 1, n = 18	Опытная группа 2, n = 2
WBCx10 ⁹ /л	8,0–16,0	$16,21 \pm 2,06$	$8,48 \pm 0,38$
LYMx10 ⁹ /л	2,5–7,5	$4,96 \pm 0,80$	$4,14 \pm 0,27$
MIDx10 ⁹ /л	0–0,84	$0,25 \pm 0,23$	$0,06 \pm 0,01$
GRAx10 ⁹ /л	0,6–6,7	$10,99 \pm 1,92$	$4,27 \pm 0,66$
ИК, усл. ед.	0,57–0,67 [6]	$2,29 \pm 0,65$	$1,08 \pm 0,28$
Лейкоформула:			
LYM, %	40–75	$30,14 \pm 5,22$	$49,10 \pm 5,50$
MID, %	2–7	$1,01 \pm 0,32$	$0,70 \pm 0,10$
GRA, %	25–51	$68,79 \pm 5,25$	$50,15 \pm 5,15$
ЛИ, усл. ед.	1,66–1,83 [6]	$0,45 \pm 0,11$	$1,0 \pm 0,31$

При анализе количества лейкоцитов в периферической крови телят в 90 % случаях установлен лейкоцитоз (опытная группа 1) на уровне $16,21 \pm 2,06 \times 10^9$ /л при норме верхнего референта $16,0 \times 10^9$ /л. У 10 % животных опытной группы 2 установлено, что количество лейкоцитов находилось в пределах нижней границы референта ($8,0 \times 10^9$ /л) и составило

$8,48 \pm 0,48 \times 10^9$ /л соответственно. При изучении различных видов лейкоцитарных клеток у телят с выраженным лейкоцитозом зарегистрировано повышенное содержание гранулоцитарных нейтрофилов (нейтрофилия) на уровне $10,99 \pm 1,92 \times 10^9$ /л при норме верхнего референта $6,7 \times 10^9$ /л. Подсчет индекса Кребса (ИК), который представляет собой соотношение общего количества нейтрофилов к лимфоцитам и характеризует их участие в поддержании общей реактивности организма [1], показал развитие в крови 90 % больных телят острого воспалительного процесса и составил $2,29 \pm 0,65$ усл. ед., что в 2,1 раза выше по сравнению с телятами второй группы.

При анализе лейкоцитарной формулы в крови телят опытной группы 1 обнаружен сдвиг в сторону увеличения процентного соотношения нейтрофилов на 18,6 % по сравнению с показателем опытной группы 2 и на 17,8 % – по сравнению с верхней границей референта. Подсчет лейкоцитарного индекса (ЛИ), который отражает взаимоотношение гуморального и клеточного звеньев иммунной системы [1], выявил недостаточную работу гуморального звена иммунитета в организме больных телят.

Заключение. Результаты клинико-гематологического статуса телят, больных средней и тяжелой формой неспецифической катаральной бронхопневмонией, выявили признаки острого воспаления и развитие гипохромной микроцитарной анемии. Дополнительный анализ белой крови телят в 90 % случаях подтвердил повышенное содержание лейкоцитов за счет увеличения нейтрофильных гранулоцитов, а анализ интегральных гематологических индексов неспецифической резистентности показал увеличение индекса Кребса при низком лейкоцитарном индексе. По полученным данным можно сделать вывод о развитии анемии и иммунодефицита в организме телят, что необходимо учитывать при разработке комплексной терапии данного заболевания.

Список источников

1. Жуков А. П., Жуков М. М., Датский А. П. Возрастные изменения референтных интегральных гематологических индексов неспецифической реактивности у здоровых лошадей // Известия Оренбургского аграрного государственного университета. 2017. № 2. С. 110–113.
2. Костюкова Ю. С. Анализ заболеваемости телят-молочников неспецифической катаральной бронхопневмонией в условиях промышленного комплекса // Студенты – науке и практике : материалы 111-й Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 29 мая 2026 г. Витебск : ВГАВМ, 2026. С. 29–30.
3. Костюкова Ю. С. Анализ эффективности комплексной терапии неспецифической катаральной бронхопневмонией у телят в условиях промышленного комплекса // Знания молодых – будущее России : сборник статей XXIV Международной студенческой научной конференции, 8-11 апреля 2026 года : в 3 ч. Киров : Вятский ГАТУ, 2026. Ч. 2: Биологические и ветеринарные науки С. 285–288.
4. Никулина Н. Б., Гурова С. В., Аксенова В. М. Неспецифическая бронхопневмония телят : учебное пособие. Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2017. 72 с.
5. Оценка применения хвойно-салициловой кормовой добавки для коррекции железодефицитной анемии у телят с признаками гастроэнтерита и бронхопневмонии в условиях «телячьей деревни» / О. О. Скорнякова, В. П. Короткий, В. А. Леухина [и др.] // Зоотехния. 2023. № 7. С. 16–19.
6. Пойманов М. А. Гематологический, биохимический и иммунологический статус телят, полученных при разных технологиях воспроизводства : диссертация ... кандидата ветеринарных наук : 06.02.01 / Пойманов Максим Александрович. Саратов, 2022. С. 92–96.
7. Скорнякова О. О., Бушмелева Е. А. Применение хелатов железа, меди, цинка, марганца с аминокислотами и биотином для повышения неспецифической резистентности лошадей в постдегельминтизационный период // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2025. № 1 (65). С. 58–61.

8. Скорнякова О. О., Ивашкина Н. С. Способ коррекции анемии и повышения общей резистентности у телят-молочников при профилактике холодового стресса и неспецифической бронхопневмонии // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2024. № 3 (64). С. 55–58.
9. Эффективность хвойно-витаминных кормовых добавок при диспепсии и бронхопневмонии телят / О. О. Скорнякова, В. П. Короткий, В. А. Рыжов, А. И. Русских // Зоотехния. 2025. № 1. С. 15–17.
10. Therapeutic approach to correct hematopoiesis and anemia in calves with nonspecific bronchopneumonia / V. Korotkiy, O. Skornyakova, V. Ryzhov, D. Mikson and A. Russkikh // Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences. 2025. No. 13. P. 1099–1075. [Received 26 Nov 2024; Accepted 11 May 2024; Published 21 Jun 2025].

References

1. Zhukov AP, Zhukov MM, Datsky AP. Age-related changes in reference integral hematological indices of nonspecific reactivity in healthy horses. Izvestiya Orenburgskogo agrarnogo gosudarstvennogo universiteta. 2017;(2):110–113. (In Russ.).
2. Kostyukova YuS. Analiz zabolevayemosti telyat-molochnikov nespetsificheskoy kataral'noy bronhopnevmoniyey v usloviyakh promyshlennogo kompleksa = Analysis of the incidence of non-specific catarrhal bronchopneumonia in dairy calves in an industrial complex. In: Studenty – nauke i praktike: materialy 111-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i magistrantov = Students in science and practice: proceedings of the 111th international scientific and practical conference of students and undergraduates, Vitebsk, May 29, 2026. Vitebsk: VGAVM; 2026. P. 29–30. (In Russ.).
3. Kostyukova YuS. Analiz effektivnosti kompleksnoy terapii nespetsificheskoy kataral'noy bronhopnevmoniyey u telyat v usloviyakh promyshlennogo kompleksa = Analysis of the effectiveness of complex therapy of nonspecific catarrhal bronchopneumonia in calves in an industrial complex In: Znaniya molodykh – budushcheye Rossii: sbornik statey XXIV mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii. Chast' 2. Biologicheskiye i veterinarnyye nauki = Knowledge of the young – the future of Russia: collection of articles of the XXIV international student scientific conference, April 8-11, Part 2. Biological and veterinary sciences. Kirov: Vyatka State Agrarian University; 2026. P. 285–288. (In Russ.).
4. Nikulina NB, Gurova SV, Aksenova VM. Nespetsificheskaya bronhopnevmoniya telyat = Non-specific bronchopneumonia of calves. Perm: Prokrost" Publishing; 2017. 72 p. (In Russ.).
5. Skornyakova OO, Korotkiy VP, Leukhina VA, et al. Assessing the use of a coniferous-salicylic feed additive for correcting iron-deficiency anemia in calves with signs of gastroenteritis and bronchopneumonia in a calf village environment. Zootekhnika. 2023;(7):16–19. (In Russ.).
6. Poimanov MA. Gematologicheskiy, biokhimicheskiy i immunologicheskiy status telyat, poluchennykh pri raznykh tekhnologiyakh vosproizvodstva = Hematological, biochemical and immunological status of the calves obtained by using different reproduction technologies: dis. ... candidate of veterinary sciences. Saratov: Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov; 2022. P. 92–96. (In Russ.).
7. Skornyakova OO, Bushmeleva EA. The use of iron, copper, zinc, and manganese chelates with amino acids and biotin to enhance the nonspecific resistance of horses in the post-deworming period. Aktual'nyye voprosy veterinarnoy biologii. 2025;(1):58–61. (In Russ.).
8. Skornyakova OO, Ivashkina NS. A method for correcting anemia and increasing the overall resistance of dairy calves in the prevention of cold stress and nonspecific bronchopneumonia. Aktual'nyye voprosy veterinarnoy biologii. 2024;(3):55–58. (In Russ.).
9. Skornyakova OO, Korotkiy VP, Ryzhov VA, Russkikh AI. The effectiveness of coniferous-vitamin feed additives in treating dystopia and bronchopneumonia in calves. Zootekhnika. 2025;(1):15–17. (In Russ.).
10. Korotkiy V, Skornyakova O, Ryzhov V, Mikson D, Russkikh A. Therapeutic approach to correct hematopoiesis and anemia in calves with nonspecific bronchopneumonia. Journal of Global

Innovations in Agricultural Sciences. 2025;13:1099-1075. [Received 26 Nov 2024; Accepted 11 May 2024; Published 21 Jun 2025].

Информация об авторах

Скорнякова Ольга Олеговна, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры незаразных, инфекционных и инвазионных болезней, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017

e-mail: olymur@yandex.ru

Костюкова Юлия Сергеевна, студентка 5 курса института биологии и ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017; ветеринарный фельдшер, ООО «Курчумское», ул. Советская, зд. 16, село Курчум, Сунский район, Кировская область, Российская Федерация, 612462

e-mail: ukostyukowa@mail.ru

Information about the authors

Skornyakova Olga Olegovna, candidate of veterinary sciences, associate professor, associate professor of the department of Non-infectious, Infectious and Invasive Diseases of Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Prospekt, Kirov, 610017, the Russian Federation

e-mail: olymur@yandex.ru

Kostyukova Yulia Sergeevna, student at the institute of Biology and Veterinary Medicine of Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Prospekt, Kirov, 610017, the Russian Federation; veterinary paramedic, LLC “Kurchumskoe”, 16 Sovetskaya Street, Kurchum village, Suna District, Kirov Region, 612462, the Russian Federation

e-mail: ukostyukowa@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

14.09.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

17.09.2026

принята к публикации / accepted for publication

21.09.2026

Научная статья
УДК 636.2.033
DOI 10.66783/2782-3172.2026.74.62.003

ВЛИЯНИЕ ПАРАТИПИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ОТБОРА НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ

Лаззат Дюсековна Примбетова, Тыргоот Джумадиевич Чортонбаев
Кыргызский Национальный Аграрный Университет им. К.И. Скрябина, Бишкек, Кыргызстан
Автор, ответственный за переписку: Лаззат Дюсековна Примбетова, plazzat@inbox.ru

Аннотация

В статье рассматриваются проблемы влияния простых и сложных паратипических факторов на реализацию генотипа животных. Простые – это факторы внешней среды, т. е. освещенность, температурный режим в помещении и др. Наиболее важным и сложным паратипическим фактором является сезон отёла животных, который оказывает многостороннее влияние на молочную продуктивность коров и качество их потомства. Целью данного исследования было определение изменения среднемесячных удоёв у коров в зависимости от сезона отёла, показателей удоёв в зависимости от времени года, динамики живой массы телок в зависимости от сезона рождения. С целью совершенствования отбора животных предложен сокращенный вариант оценки коров по комплексу признаков. Так, по продуктивным качествам, животных целесообразно относить к бонитировочным классам: элита, первый и внеклассные; по породности – к высококровным (III поколение и выше) и низкокровным (ниже III поколения). Определены коэффициенты перевода удоёв за первую и вторую лактации к полновозрастной лактации и поправочный коэффициент на сезон отёла. Для первой лактации коэффициент пересчёта равен 1,41, для второй – 1,15. Поправочный коэффициент для осенне-зимних отёлов составляет 1,11. Высококровные животные не ниже первого класса и элита могут быть включены в активную часть породы.

Ключевые слова: генотип, паратипические факторы, воспроизводство коров, молочная продуктивность, отёл, содержание, показатели удоёв, динамика живой массы, отбор животных

Финансирование: исследование выполнено в рамках научной деятельности Кыргызского национального аграрного университета имени К. И. Скрябина и не получало специальной финансовой поддержки от государственных, коммерческих или некоммерческих организаций

Для цитирования: Примбетова Л. Д., Чортонбаев Т. Д. Влияние паратипических факторов и отбора на молочную продуктивность коров // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 25–32. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.74.62.003.

THE IMPACT OF PARATYPIC FACTORS AND SELECTION ON DAIRY PRODUCTIVITY IN COWS

Lazzat D. Primbetova, Tyrgoot Dz. Chortonbaev
Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyz Republic
Corresponding author: Lazzat D. Primbetova, plazzat@inbox.ru

Abstract

This article examines the influence of paratypic factors on animal genotypes development, which can be simple or complex. Simple factors include environmental factors, such as lighting, room

temperature, and others. The most important and complex paratypic factor is the calving season, which has a multifaceted impact on the milk production of cows and the quality of their offspring. This study aim was to determine changes in the average monthly milk yield in cows depending on their calving season, milk yield indicators depending on the season, and live weight dynamics in heifers depending on their birth season. To improve animal selection, the shortened version of cow assessment based on a set of traits was proposed. Based on productive qualities, animals are appropriately classified into the following classification classes: elite, first, and non-class, and based on their breed type, they are classified as high-blooded (third generation and above) and low-blooded (below third generation). The authors determined conversion factors for milk yield in the first and second lactations to full-term milk yield and a correction factor for the calving season. For the first lactation, the conversion factor was 1.41, and for the second it was 1.15. The correction factor for autumn and winter calving accounted for 1.11. High-blooded animals of at least first-class and elite quality may be included in the active part of the breed.

Keywords: genotype, paratypic factors, reproduction of cows, milk productivity, calving, maintenance, milk yield indicators, live weight dynamics, animal selection

Funding: the study was carried out within the framework of the scientific activities of Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin and received no specific financial support from governmental, commercial, or non-profit organizations

For citation: Primbetova LD, Chortonbaev TDz. The impact of paratypic factors and selection on dairy productivity in cows. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):25–32. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.74.62.003. (In Russ.).

Введение. На реализацию генотипа животных большое влияние, наряду с генетическими, оказывают и паратипические факторы, которые могут быть простыми и сложными. Простыми факторами внешней среды являются освещенность, температурный режим в помещении и другие, которые легко можно изменить в нужном направлении за счёт применения дополнительных технологических приемов [1, 2].

Одним из наиболее важных и сложных паратипических факторов является сезон отёла животных. Сложность заключается в том, что регулировать сезон отёла в стаде можно только за счёт ввода нетелей. Трудно и нецелесообразно вмешиваться в сложнейший режим воспроизводства коров и вносить коррективы на сезон отёла, который оказывает многостороннее влияние на молочную продуктивность коров и качество их потомства. В хозяйствах с разным уровнем продуктивности проведены исследования по изучению влияния сезона отёла на уровень молочной продуктивности коров [3].

Материалы и методы. При статистической обработке результаты представлены в виде $X \pm m_x$. Статистическая достоверность различий обозначена: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. В окончательной редакции эти обозначения должны соответствовать фактически применённому статистическому критерию и первичным расчётам авторов.

Расчёт удоя. Для определения удоя за лактацию использовали три пробных суточных удоя, полученных в начале следующих друг за другом месяцев лактации, с применением коэффициентов для соответствующих трёхмесячных периодов: I–III $\times 78$; II–IV $\times 84$; III–V $\times 90$; IV–VI $\times 96$; V–VII $\times 105$; VI–VIII $\times 110$; VII–IX $\times 132$.

Показатели и методы учёта. Определяли удои за лактацию, среднемесячные удои, содержание жира и белка в молоке, живую массу коров и динамику живой массы телок при рождении, в 6-, 10-, 12- и 18-месячном возрасте. Живую массу коров определяли по промерам обхвата груди за лопатками и косой длине туловища (способ Клувер-Штрауха) либо по обхвату груди с использованием соответствующей шкалы с поправкой на упитанность.

Объект и организация исследования. Исследования проводились в двух хозяйствах Кыргызской Республики: племенном заводе и племенном хозяйстве. Объектом исследования являлись коровы чёрно-пёстрой породы молочного направления, поделенные на два стада

по уровню удоя. В анализ включены 44 первотёлки: 21 животное в стаде с уровнем удоя до 3000 кг и 23 животных в стаде с уровнем удоя более 3000 кг. Животные распределены по сезонам отёла: зимний, весенний, летний и осенний.

Условия кормления и содержания. В обоих стадах наблюдались круглогодичные отёлы. В летний период для животных использовали пастбищное содержание, в зимний период (с осени до весны) содержание переводилось на стойловую систему. В тексте исследования повышение летней продуктивности связывается с полноценностью зелёного корма, нахождением животных на воздухе, солнечной инсоляцией и двигательной активностью. Количественная структура рационов в исследуемых хозяйствах в период проведения исследования не была документально зафиксирована, поэтому конкретные нормы кормления, содержание обменной энергии и сырого протеина в ретроспективном анализе не приводятся. В статье дополнительно отмечено, что различия в кормлении и условиях содержания могут выступать сопутствующими факторами при интерпретации влияния сезона отёла. Без первичных данных эти количественные показатели не использовались в данном исследовании.

Результаты и обсуждение. При изучении влияния паратипических факторов установлено, что в стадах проводятся круглогодичные отёлы. Значительный удельный вес (от 23,8 до 39,2 %) приходится на лето (таблица 1).

Таблица 1. Молочная продуктивность коров в зависимости от сезона отёла (первая лактация)

Сезон отёла	Всего коров		Удой, кг	Молочный		Живая масса, кг
	гол.	%		жир, %	белок, %	
Удой по стаду до 3000 кг						
Зима	6	28,5	2986±67,3***	3,19±0,04	3,26±0,02	489±3,8
Весна	7	33,3	2553±6113,1	3,09±0,02	3,23±0,02	475±2,0
Лето	3	14,4	2569±99,0	3,08±0,02	3,20±0,03	479±3,0
Осень	5	23,8	3000±120,8***	3,21±0,04	3,24±0,02	497±3,1
Удой по стаду более 3000 кг						
Зима	5	21,7	3809±33,6**	3,83±0,01	3,37±0,01	515±3,6
Весна	4	17,4	3667±39,1	3,82±0,02	3,37±0,01	512±3,4
Лето	5	21,7	3402±30,4	3,84±0,02	3,38±0,01	511±3,9
Осень	9	39,2	3933±36,9***	3,85±0,02	3,38±0,01	515±3,2

Выявлена общая закономерность, характерная для обоих стад. Самые высокие удои имеют коровы осенне-зимних отёлов. Разница в удое по сравнению с летними отёлами достоверна.

При осенне-зимних отёлах высокие удои в первые месяцы лактации объясняются повышенной деятельностью молочной железы после отёла, а во второй половине лактации повышенный удой сохраняется под влиянием летнего содержания животных, так как независимо от сезона в летние месяцы получают самые высокие удои. Повышенная продуктивность коров летом связана с питательной полноценностью зелёной травы, содержанием скота на воздухе, солнечной инсоляцией и постоянным движением животных [4–7]. При летних отёлах резкое снижение удоев у коров происходит при переводе их с пастбищного содержания на стойловое (таблица 2).

Таблица 2. Изменение среднемесячных удоев у коров в зависимости от сезона отёла

Сезон отёла	Удои по месяцам лактации, кг									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Зима	370	376	430	421	397	277	268	288	296	195
Весна	340	400	424	388	304	241	296	221	180	189
Лето	310	385	415	385	280	223	285	245	189	150
Осень	376	406	430	406	288	319	283	296	257	210

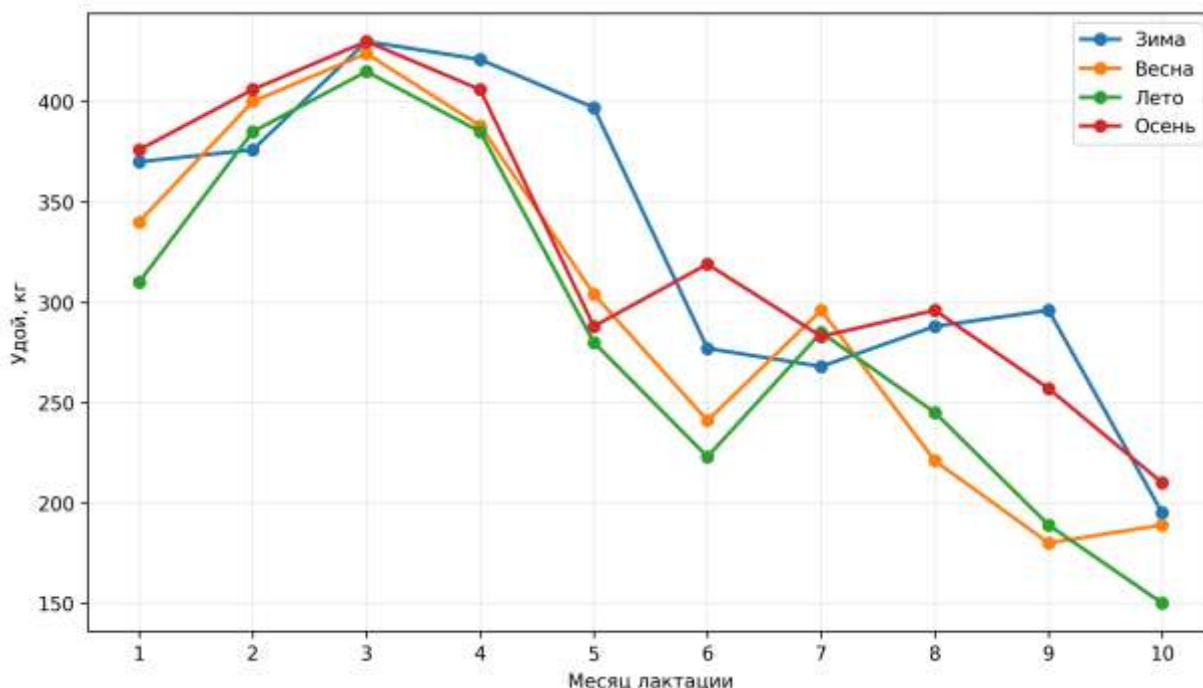


Рисунок 1. Динамика среднемесячного удоя в зависимости от сезона отёла

Коэффициент равномерности лактационной кривой (отношение максимального месячного удоя к среднемесячному удою за лактацию) может служить показателем распределения удоев по месяцам лактации. У коров летнего отёла коэффициент равномерности лактационной кривой составляет 1,42; весеннего отёла – 1,40; зимнего – 1,29 и осеннего – 1,27.

Осенние и зимние отёлы способствуют получению более крупных и жизнеспособных телят. При зимних отёлах первая половина стельности, а при осенних – вторая приходится на летнее пастбищное содержание, при котором животные хорошо обеспечиваются протеином, минеральными веществами и витаминами, что положительно влияет на внутриутробное развитие телят [8].

В процессе проведения опыта нами изучена динамика живой массы телок в зависимости от сезона рождения (таблица 3).

Таблица 3. Динамика живой массы телок в зависимости от сезона рождения ($X \pm m_x$)

Сезон отёла	Всего телок, голов	Живая масса в возрасте, кг				
		при рождений	6 мес.	10 мес.	12 мес.	18 мес.
Зима	11	34±0,6	180±3,1***	276±3,0***	311±2,7***	419±3,1***
Весна	11	32±0,4	165±2,8**	251±2,9	285±3,0	380±3,2**
Лето	8	33±0,5	153±3,3	251±3,2	285±3,3	367±3,5
Осень	14	34±0,7	173±2,4***	273±2,5***	302±2,4***	398±3,0***

Примечание: ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Живая масса тёлочек в возрасте 6, 10, 12 и 18 месяцев достоверно выше по сравнению со сверстницами летнего сезона рождения ($P < 0,001$). Поэтому надо стремиться к тому, чтобы удельный вес коров летних отёлов в стаде не превышал 7–10 %, для чего ежегодно необходимо делать перерыв в оплодотворении телок с августа по октябрь. Этот приём может полностью исключить летние отёлы нетелей, а через 2–3 года значительно снизится удельный вес летних отёлов и в целом по стаду. Установлено, что сокращение удельного веса коров летних отёлов

будет способствовать повышению удоев коров на 106–157 кг молока на корову в год без дополнительных затрат.

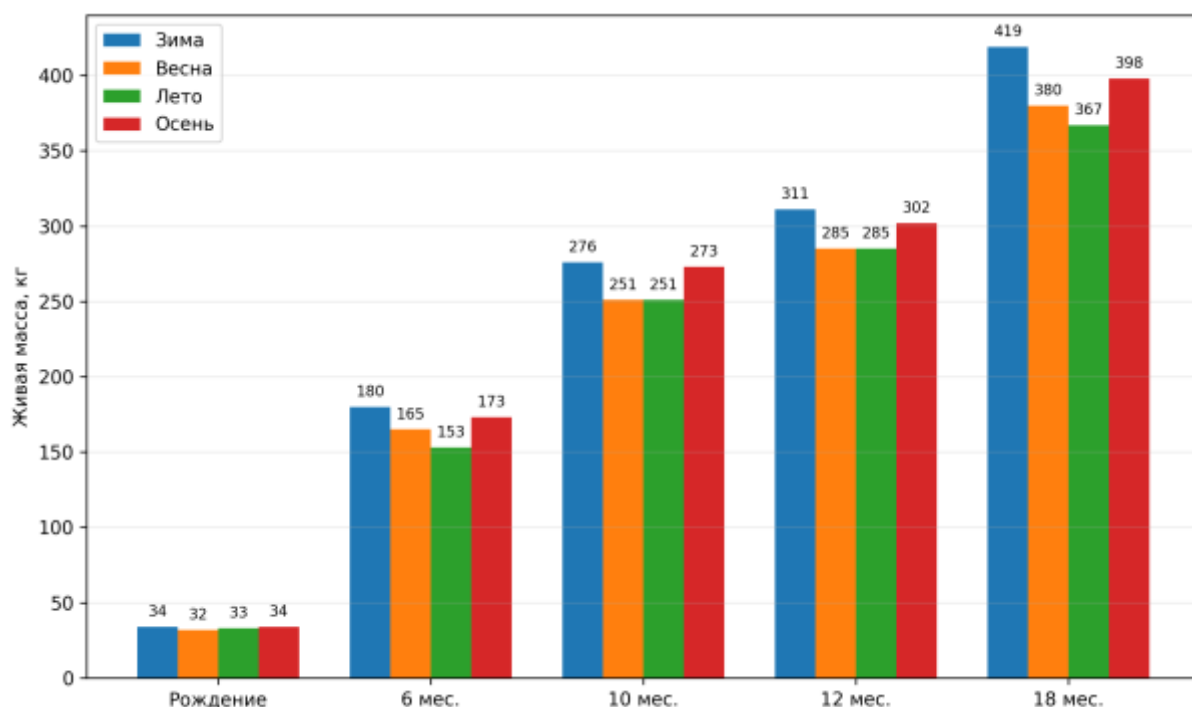


Рисунок 2. Динамика живой массы телок в зависимости от сезона рождения

С целью совершенствования отбора животных в личных и фермерских хозяйствах нами разработан сокращенный вариант оценки коров по комплексу признаков, при котором, по продуктивным качествам, животных целесообразно относить к бонитировочным классам: элита, первый и внеклассные; по породности – к высококровным (III поколение и выше) и низкокровным (ниже III поколения). Породность можно установить с учётом сведений о происхождении животного, масти и других признаков. При наличии сведений о родителях и хорошо выраженных породных признаках животных относят к чистопородным. При хорошо выраженных породных признаках и наличии сведений хотя бы об одном родителе, животное может быть отнесено к III поколению. При отсутствии сведений о происхождении и недостаточно выраженных породных признаках (несоответствие масти, краниологического типа и т.д.) животных относят к помесям I или II поколения [9–11].

По живой массе, экстерьеру и молочной продуктивности коров относят к трем бонитировочным классам (таблица 4).

Таблица 4. Оценка по основным селекционным признакам

Класс	Требование для отнесения к классу по:		
	живой массе	экстерьеру	удю
Элита	превышает стандарт породы	нет явно выраженных недостатков экстерьера	превышает стандарт породы
Первый	соответствует стандарту породы	имеется не более трёх недостатков экстерьера	соответствует стандарту породы
Неклассные	ниже стандарта породы	имеется более трёх недостатков экстерьера	ниже стандарта породы

Живую массу коров определяют по промерам обхвата груди за лопатками и косой длине туловища (способ Клувер-Штрауха) или только по обхвату груди за лопатками

(по шкале). При определении живой массы этими способами вносится поправка на упитанность животных: при вышесредней упитанности расчетную массу увеличивают на 5–10 %, при ниже средней – снижают на 5–10 % [12–14].

Проведенные расчёты определения удоя за лактацию разными способами показали, что наиболее точным является способ по трем пробным суточным удоям, которые учитываются в начале следующих друг за другом тех месяцев лактации с учетом коэффициентов для месяцев лактации: I–III $\times 78$; II–IV $\times 84$; III–V $\times 90$; IV–VI $\times 96$; V–VII $\times 105$; VI–VIII $\times 110$; VII–IX $\times 132$.

Заключение. Результаты представлены отдельно по двум стадам и по сезонам отёла. Полученные различия интерпретируются с учётом сезонной динамики лактации, при этом различия в уровне кормления и технологии содержания должны учитываться как потенциальные сопутствующие факторы.

Нами определены коэффициенты перевода удоя за первую и вторую лактации к полновозрастной лактации и поправочный коэффициент на сезон отёла. Для первой лактации коэффициент пересчёта равен 1,41, а для второй – 1,15. Поправочный коэффициент для осенне-зимних отёлов составляет 1,11. Высококровные животные не ниже первого класса и элита могут быть включены в активную часть породы.

Таким образом, результаты исследования на коровах чёрно-пёстрой породы показывают выраженную связь молочной продуктивности и динамики роста телок с сезоном отёла и рождения. Осенне-зимние отёлы характеризовались более высокими удоями и более высокой живой массой телок в исследуемых возрастных периодах. Вместе с тем при интерпретации различий необходимо учитывать уровень кормления и условия содержания животных.

Определение содержания жира и белка в молоке (не реже одного раза в два месяца) позволит в дальнейшем вести отбор коров по жирно- и белковомолочности.

Список источников

1. Национальная стратегия развития Кыргызской Республики на 2018–2040 годы. URL: https://www.gov.kg/storage/2020/01/files/program/8/natsionalnaya_strategiya_razvitiya_kyrgyzsko_y_respubliki_na_2018_2040_gody.pdf (дата обращения: 12.06.2025).
2. Вильвер Д. С. Влияние возраста материнских предков на молочную продуктивность и морфофункциональные свойства вымени коров черно-пестрой породы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 2 (52). С. 138–140.
3. Вильвер А. С. Влияние паратипических факторов на показатели молочной продуктивности коров в условиях промышленной технологии производства молока // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 11–16. DOI: 10.52463/22274227_2022_42_11.
4. Influence of the age of cows on the dynamics of dairy efficiency depending on a breeding line / O. V. Gorelik, A. Yu. Brjanzev, S. L. Safronov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk, 2021. P. 42015. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042015.
5. Даленов Ш. Д., Адайбаев А. А., Альходжаев У. А. Молочная продуктивность и состав молока коров, помесей черно-пестрой и голштинской пород // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана, 2019. № 1. С. 34–35.
6. Деркенбаев С. М., Самыкбаев А. К., Шергазиев У. А. Влияние породности на молочную продуктивность коров на примере СКХ «Чабрец» Кыргызской Республики // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина. 2020. № 3 (54). С. 116–119.
7. Омбаев А. М., Беймуканов Д. А., Бегалиева Д. А. Особенности выращивания телят черно-пестрой породы и казахского бурого типа молочного скота в профилакторный и молочный периоды // Ғылым және білім (Наука и образование) : научно-практический журнал Западно-Казахстанского аграрно-технического университета им. Жангир хана. 2022. № 4–3 (69). С. 80–91.

8. Молочная продуктивность дочерей разных быков-производителей голштинской породы / В. В. Ляшенко, И. В. Каешова, А. В. Губина, Н. Ю. Чупшева // Нива Поволжья. 2022. № 2 (62). С. 2004.
9. Попова О. А., Хохлова А. П., Маслова Н. А. Влияние паратипических факторов при формировании молочной продуктивности коров симментальской породы в условиях промышленной технологии // Известия Коми научного центра УРО РАН. Серия «Сельскохозяйственные науки». 2026. № 1 (86). С. 116–122.
10. Татуева О. В., Кольцов Д. Н. Влияние паратипических и генетических факторов на молочную продуктивность и продолжительность продуктивной жизни коров в условиях Смоленской области // АгроЗooТехника. 2021. Т. 4, № 2. URL: <http://azt-journal.ru/article/28951> (дата обращения: 25.07.26).
11. Влияние уровня кормления на молочную продуктивность первотелок на примере МТФ АО «АПК Адал» / Т. Ж. Чортонбаев, Н. Б. Есжанов, Б. У. Умирзаков, А. Б. Бектуров // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2022. № 2 (63). С. 191–198.
12. Чучунов В. А., Радзиевский Е. Б., Коноблей Т. В. Методика оценки будущей молочной продуктивности коров симментальской породы // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 1 (37). С. 45–50.
13. Шергазиев У. А. Влияние уровня лактации коров в годы зарождения потомства на их будущие продуктивные племенные качества // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2021. № 4 (58). С. 47–51.
14. Федосеева Н. Связь удоя и воспроизводительной способности коров // Молочное и мясное скотоводство. 2000. № 2. С. 25.

References

1. Natsional'naya strategiya razvitiya Kyrgyzskoy Respubliki na 2018–2040 gody = National development strategy of the Kyrgyz Republic for 2018–2040. https://www.gov.kg/storage/2020/01/files/program/8/natsionalnaya_strategiya_razvitiya_kyrgyzskoy_respubliki_na_2018_2040_gody.pdf [Accessed 12 June 2026]. (In Russ.).
2. Vilver DS. The influence of maternal ancestral age on milk productivity and morphofunctional properties of udders of black-and-white cows. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;(2):138–140. (In Russ.).
3. Vilver AS. The influence of paratypical factors on the dairy productivity indicators of cows in the conditions of industrial milk production technology. *Vestnik Kurganskoy GSKHA*. 2022;(2):11–16. DOI: 10.52463/22274227_2022_42_11. (In Russ.).
4. Gorelik OV, Brjanzev AYU, Safronov SL, Gritsenko SA, Bobkova E. The influence of the cows age on the dynamics of dairy efficiency depending on a breeding line. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Krasnoyarsk; 2021. P. 42015. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042015.
5. Dalenov ShD, Adaibayev ZhZh, Alkhodzhaev UA. Dairy productivity and milk composition of cows, crossbreeds of black-mottled and Holstein breeds. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Kazakhstana*. 2019;(1):34–35. (In Russ.).
6. Derkenbaev SM, Samykbaev AK, Shergaziev UA. The influence of pedigree on dairy productivity of cows on the example of agricultural farms Chabrez of the Kyrgyz Republic. *Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University*. 2020;(3):116–119. (In Russ.).
7. Ombaev AM, Beimukanov DA, Begalieva DA. Features of raising black-and-white calves and Kazakh brown type of dairy cattle in the preventive and dairy periods. *Nauka i obrazovaniye. Nauchno-prakticheskiy zhurnal Zapadno-Kazakhstanskogo agrarno-tekhnicheskogo universiteta imeni Zhangir khana*. 2022;(4–3):80–91. (In Russ.).
8. Lyashenko VV, Kaeshova IV, Gubina AV, Chupsheva NYu. Dairy productivity of daughters of different bulls-producers of the Holstein breed. *Niva Povolzh'ya*. 2022;(2):2004. (In Russ.).

9. Popova OA, Khokhlova AP, Maslova NA. The influence of paratypical factors in the milk productivity formation of Simmental cows in the conditions of industrial technology. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra URO RAN. Seriya Sel'skokhozyaystvennyye nauki*. 2026;(1):116–122. (In Russ.).
10. Tatueva OV, Koltsov DN. The influence of paratypical and genetic factors on dairy productivity and the duration of productive life of cows in Smolensk region. *AgroZooTekhnika*. 2021;4(2). URL: <http://azt-journal.ru/article/28951> [Accessed]. (In Russ.).
11. Chortonbaev TZh, Eszhanov NB, Umirzakov BU, Bekturov AB. The influence of the feeding level on the dairy productivity of first-born heifers on the example of the MTF of APK Adal. *Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University*. 2022;(2):191–198. (In Russ.).
12. Chuchunov VA, Radzievsky EB, Konobley TV. Methodology for assessing the future dairy productivity of Simmental cows. *Vestnik Kurganskoy GSKHA*. 2021;(1):45–50. (In Russ.).
13. Shergaziev UA. The influence of the level of lactation of cows during the years of offspring generation on their future productive breeding qualities. *Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University*. 2021;(4):47–51. (In Russ.).
14. Fedoseeva N. The relationship between milk yield and reproductive ability of cows. *Molochnoye i myasnoye skotovodstvo*. 2000;(2):25. (In Russ.).

Информация об авторах

Примбетова Лаззат Дюсековна, старший преподаватель кафедры «Технология переработки сельскохозяйственной продукции», Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина, ул. Медерова, д. 68, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720005
e-mail: plazzat@inbox.ru

Чортонбаев Тыргоот Джумадиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры биотехнологии и химии, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина, ул. Медерова, д. 68, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720005

Information about the authors

Primbetova Lazzat Diusekovna, senior lecturer of the department of Technology of Agricultural Products Processing of Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin, 68 Mederov Street, Bishkek, 720005, Kyrgyz Republic
e-mail: plazzat@inbox.ru

Chortonbaev Tyrgoot Dzhumadievich, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of Biotechnology and Chemistry of Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin, 68 Mederov Street, Bishkek, 720005, Kyrgyz Republic

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

31.07.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

17.08.2026

принята к публикации / accepted for publication

03.09.2026

Научная статья
УДК 636.2.06 ; 636.2.082.13
DOI 10.66783/2782-3172.2026.94.13.004

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭКСТЕРЬЕРА И ХОЗЯЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНЫХ КАЧЕСТВ ГОЛШТИНСКИХ КОРОВ

Усманова Елена Николаевна

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Усманова Елена Николаевна, elena_academy@mail.ru

Аннотация

Оценка экстерьера животных во взаимосвязи с хозяйственными признаками в рамках конкретного хозяйства с учетом факторов окружающей среды и генетики имеет решающее значение для максимизации продуктивности, здоровья, долголетия животных. Целью настоящего исследования является выявление закономерностей взаимосвязи экстерьера и хозяйственно-полезных качеств коров в условиях племенного репродуктора. В исследовании использованы данные зоотехнического учета 1136 коров-первотелок голштинской породы хозяйства Кировской области. Установлено, что удой коров за всю лактацию с типом телосложения «отличный» был выше, чем удой коров с оценкой «хороший с плюсом», на 683,3 кг; на 2953,7 кг по сравнению с аналогами, имеющими оценку «хороший» (разница достоверна $p \leq 0,01$). По показателям массовая доля жира (МДЖ) и массовая доля белка (МДБ) не было отмечено зависимости удоя от категории типа телосложения. Животные типа телосложения «отличный» по признакам воспроизводительных качеств уступали животным с более низкой оценкой: сервис период был больше у группы с «отличной» оценкой на 25,13 дней по сравнению с животными с оценкой «хороший» ($p \leq 0,05$), что согласуется с концепцией отрицательного энергетического баланса у высокопродуктивных коров. Для оптимизации воспроизводства и сокращения сервис-периода на современных фермах необходимо применять новые передовые технологии, в том числе индексы для отбора с показателями фертильности. Установлено, что главным признаком, влияющим на удой, является состояние вымени. В связи с этим подчеркивается важность оценки вымени при отборе коров по молочной продуктивности ($r = 0,45$). Взаимосвязи экстерьерных показателей и качественных показателей молока (жирномолочности и белкомолочности) близки к нулю. Комплексная оценка экстерьера и продуктивных качеств позволяет правильно вести отбор животных, которые, обладая хорошим здоровьем, смогут наиболее полно реализовать свой высокий генетический потенциал.

Ключевые слова: молочная продуктивность, голштинская порода, корреляция, экстерьер, здоровье коров

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств автора

Для цитирования: Усманова Е. Н. Взаимосвязь экстерьера и хозяйственно-полезных качеств голштинских коров // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 33–41. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.94.13.004.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE EXTERIOR AND ECONOMIC CHARACTERS OF HOLSTEIN COWS

Elena N. Usmanova

Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

Corresponding author: Elena N. Usmanova, elena_akademy@mail.ru

Abstract

Assessing the exterior of animals in relation to their economic traits within a specific farm, taking into account environmental factors and genetics, is crucial for maximizing the productivity, health, and longevity of the animals. The article objective is to identify the patterns of relationship between the exterior appearance and economic characters of cows in a breeding farm. The materials and methods include data from a livestock survey of 1,136 first-calf Holstein cows from the farm in Kirov region. It was found out that the full-lactation milk yield of cows rated "Excellent" exceeded that of cows rated "Good Plus" by 683.3 kg and that of cows rated "Good" by 2,953.7 kg (the difference was statistically significant at $p \leq 0.01$). Regarding milk fat and protein content, no dependency of milk yield on body type category was observed. The animals of the "excellent" type, in terms of reproductive qualities, were inferior to those with a lower score: the service period was 25.13 days longer in the group with an "excellent" score compared to the animals with a "good" score ($p \leq 0.05$), which was consistent with the concept of a negative energy balance in high-productivity cows. To optimize reproduction and reduce the service period on modern farms, it is necessary to apply new advanced technologies, including selection indices incorporating fertility traits. It was established that the main factor influencing milk yield is the udder, which confirms the importance of udder assessment when selecting cows based on milk productivity ($r = 0.45$). The relationships between exterior indicators and milk quality indicators (fat content and protein content) were close to zero. A comprehensive assessment of the exterior and productive qualities makes it possible to select the animals having good health and which will be able to realize their high genetic potential to the full extent.

Keywords: milk productivity, Holstein breed, correlation, exterior, cow health

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Usmanova EN. The relationship between the exterior and economic characters of Holstein cows. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):33–41. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.94.13.004. (In Russ.).

Введение. Для получения высокой рентабельности производства молока необходим комплексный подход, который объединяет целенаправленную селекцию, современные биотехнологии и создание оптимальных условий содержания коров [3, 6, 7]. Рационы должны быть сбалансированы по широкому комплексу питательных и биологически активных веществ [4, 11, 13]. Селекционно-генетические критерии отбора коров помогают целенаправленно проводить отбор и совершенствовать стада. Подбор позволяет закрепить у потомства желательные ценные качества предков [1, 2]. Экстерьерные признаки хорошо передаются по наследству, поэтому их оценка важна для селекционной работы [8]. Оценка экстерьера голштинской породы стандартизирована и проводится по линейной оценке, которая включает от 18 до 20 базовых признаков. Стандарты постоянно обновляются и пересматриваются, отражают стати телосложения и функциональную связь с молочной продуктивностью, здоровьем и долголетием животных. Взаимосвязь между экстерьером и другими признаками не константна и может варьироваться в зависимости от факторов внешней среды. Поэтому подход к оценке экстерьера племенных животных в рамках каждого хозяйства должен быть комплексным и учитывать взаимосвязь между хозяйственно-

полезными качествами (продуктивностью, здоровьем, технологичностью) и их конституциональными особенностями [4, 5]. Цель исследования – выявить закономерности взаимосвязи экстерьера и хозяйственно-полезных качеств коров в условиях племенного репродуктора.

Материалы и методы. Были использованы данные зоотехнического учета хозяйства племенного репродуктора по разведению голштинской породы крупного рогатого скота Кировской области, статистические приёмы обработки, анализ данных 1136 коров-первотелок.

Результаты и обсуждение. В Кировской области молочная отрасль развивается динамично, совершенствуются продуктивные и племенные качества коров. При этом ставится задача увеличения количества и улучшение качества молока при одновременном поддержании здоровья коров [12, 14]. Таблица 1 отражает распределение животных по категориям телосложения и молочной продуктивности в зависимости от международной 100-балльной оценки. Классическая шкала классификации («отличный», «хороший с плюсом», «хороший», «удовлетворительный») связывает экстерьер и продуктивность. В изучаемом хозяйстве не было выделено животных с выдающимися породными качествами и наивысшей категорией «превосходный». По экстерьеру, максимально приближенному к идеальному и с оценкой «отлично», из 900 оцененных голов было выделено 5,4 %, или 49 голов. Наибольшее поголовье относится к категории «хороший с плюсом» – 812 голов, или 90,2 %. Это высококлассные племенные животные с незначительными отклонениями в отдельных статях. 4,3 % голов из оцененных получили оценку «хорошо» и имели слабовыраженный молочный тип и некоторые дефекты экстерьера.

Более продолжительная лактация наблюдалась в группе коров с оценкой «отлично» – 366,7 дней. Удой коров за всю лактацию с «отличной» оценкой был выше, чем удой аналогов с оценкой «хорошо с плюсом» на 683, 3 кг и на 2953,7 кг по сравнению с коровами с оценкой «хорошо» (разница достоверна $p \leq 0,01$). Для повышения точности сопоставления определили удой коров на один дойный день, наибольшее значение которого отмечено у коров с показателем экстерьерной оценки «отлично», что на 2,74 кг превосходило удой аналогов с показателем «хороший с плюсом» и на 6,34 кг было больше по сравнению с группой коров с оценкой «хороший».

Таблица 1. Классификация коров-первотелок стада по типу телосложения и их молочная продуктивность ($M \pm m$)

Категория типа телосложения	Баллы	Голов	Удельный вес, %	За всю лактацию				
				дойных дней, дней	удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	удой на один дойный день, кг
Преисходный	90 и более	0	0	-	-	-	-	-
Отличный	85–89	49	5,44	366,66±13,39	11820,84±450,15**	3,95±0,11*	3,40±0,10	32,08±0,87
Хороший с плюсом	80–84	812	90,22	357,77±1,48	11037,49±35,07	3,98±0,02	3,41±0,01	29,34±0,10
Хороший	75–79	39	4,3	348,14±14,04	8867,13±366,2	4,05±0,15*	3,41±0,13	25,74±0,94
Удовлетворительный	65–74	0	0	-	-	-	-	-
Плохой	50–64	0	0	-	-	-	-	-

Примечание: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

В частности, чем выше категория типа телосложения коров, тем выше их удой. Данная закономерность согласуется с исследованиями и классическими зоотехническими данными таких ученых, как Л. И. Кузякина, К. К. Мулявка, Л. Ю. Овчинникова. Экспериментальные

данные линейной оценки экстерьера первотелок этих авторов подтвердили, что животные с лучшими экстерьерными показателями обладали наибольшей молочной продуктивностью [8, 10]. По показателю МДБ не было отмечено зависимости от категории типа телосложения. По показателю МДЖ разница была небольшая: у коров с оценкой «отличный» содержание жира было меньше на 0,1 % по сравнению с коровами с оценкой «хороший». Данный результат согласуется с общей закономерностью, согласно которой при повышении удоя процент жира в молоке, как правило, снижается.

Представленная ниже таблица 2 показывает зависимость воспроизводительных качеств коров-первотелок от их экстерьера (типа телосложения). Средний возраст первого отела составлял 24,12–24,64 месяца. Здесь разница не существенна, хотя замечено, что более развитые животные молочного типа достигали возраста первого осеменения и, соответственно, отела несколько раньше: при разнице между экстерьерными оценками «отличный» и «хороший» 0,52 месяца в пользу более высокой оценки. Наименьший сервис-период отмечен у животных с категорией телосложения «хороший». Он был меньше, чем у группы с категорией «отличный», на 25,13 дня ($p \leq 0,05$). Категорию «отличный», получили животные с признаками высокой молочной продуктивности, но эта категория не гарантировала высокие показатели воспроизводства в хозяйстве, так как организм высокопродуктивных молочных коров отдает больше энергии и питательных веществ на получение молока и оставляет меньше резервов на восстановление и успешное оплодотворение после отёла. Данный вывод согласуется с фундаментальной концепцией отрицательного энергетического баланса (ОЭБ) у высокопродуктивных коров [15], а также с результатами многочисленных классических и современных исследований отечественных и зарубежных ученых. Они утверждали, что у высокопродуктивных коров в начале лактации, может возникать состояние так называемого отрицательного энергетического баланса, когда поступление питательных веществ с кормом не может покрыть огромные затраты энергии на образование молока. Поскольку молочные коровы генетически отбирались для обеспечения высокой молочной продуктивности, при возникающем дефиците или сильном истощении энергетических ресурсов, начинают страдать другие органы и функции, в частности ухудшаются репродуктивные функции. То есть метаболизм отдает приоритет лактации вместо других функций организма.

Таблица 2. Классификация коров-первотелок стада по типу телосложения и их воспроизводительные функции, живая масса и коэффициент молочности

Категория типа телосложения	Баллы	Голов	Возраст 1 отела, мес.	Сервис-период, дней	Живая масса, кг	Коэффициент молочности
Превосходный	90 и более	0	0	0	0	0
Отличный	333	49	24,12±0,73	158,31±7,88*	572,63±17,56**	20,74±0,69*
Хороший с плюсом	80–84	812	24,49±0,10	144,47±0,59	562,10±1,48	19,70±0,10
Хороший	75–79	39	24,64±0,92*	133,18±6,37	542,28±21,66	16,35±0,65
Удовлетворительный	65–74	0	0	0	0	0
Плохой	50–64	0	0	0	0	0

Примечание: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

При ограниченном количестве питательных веществ молочная корова направляет энергию, аминокислоты и минералы из собственных запасов организма и репродуктивного тракта на поддержание молочной продуктивности для своего теленка [16]. Лебедько Е. Я. детально изучал взаимосвязь типов телосложения коров с их продуктивным долголетием

и воспроизводительной способностью, отмечая, что слишком выраженный молочный тип с чрезмерно развитой молочной железой и при этом слаборазвитой мышечной и костной системой создает дисбаланс. Изнеженный молочный тип менее пластичен, что приводит к снижению продуктивного использования и воспроизводства [9].

В наших исследованиях более крупные коровы отмечены по группе «отличный». Они имеют живую массу в среднем 572,6 кг и превосходство по этому показателю над группой с оценкой «хороший с плюсом» на 10,53 кг, над группой с оценкой «хороший» – на 30,35 кг ($p \leq 0,01$). Закономерно то, что коровы с большей живой массой более продуктивны, они обладают большим объемом внутренних органов (рубеца, кишечника, молочной железы), большим потреблением корма и конверсией в молоко.

Установили, что наибольший коэффициент молочности имеют животные с категорией «отличный» – 20,74. «Отличный» тип телосложения предполагает максимально выраженные признаки молочности: объемное вымя, длинные и правильно прикрепленные доли вымени, глубокую грудь, широкий таз.

В результате анализа данных учета была определена взаимосвязь классификационных признаков экстерьера с молочной продуктивностью первотелок. Установили наиболее сильную положительную корреляцию вымени и удоя ($r = 0,45$) (таблица 3). Таким образом, при оценке экстерьера вымя – это главный признак, который наиболее тесно связан с удоем, что подтверждает важность оценки вымени при отборе коров по молочной продуктивности.

Высокие значения отмечены по показателям удоя с общим видом ($r = 0,39$) и молочным типом ($r = 0,24$). Умеренная прямая связь установлена между удоем, объемом тела ($r = 0,16$) и ногами ($r = 0,18$).

Таблица 3. Взаимосвязь (коэффициент корреляции) классификационных признаков (по системе Б) с молочной продуктивностью коров-первотелок (n = 1136 голов)

Показатели	Классификационные признаки					
	Объем тела	Молочный тип	Ноги	Вымя	Общий вид	Общий балл
удой	0,16	0,24	0,18	0,45	0,39	0,17
МДЖ	0,03	-0,06	-0,10	-0,06	-0,07	-0,05
МДБ	0,00	-0,02	0,02	0,01	0,01	0,00

Хотя удой коров может быть высоким, но неправильная постановка ног или другие пороки ног могут развить хромоту или другие хронические заболевания суставов, что в конечном итоге повлияет на продолжительность хозяйственного использования коровы и пожизненный удой. По нашим данным, взаимосвязи экстерьерных показателей и качественных показателей молока (жирномолочности и белкомолочности) были близки к нулю, что свидетельствует о том, что на эти показатели больше влияли другие факторы.

Заключение. Молочная продуктивность – это основа экономики хозяйства, определяющая рентабельность. В селекции молочного скота признаки внешнего вида (экстерьера) имеют прямую генетическую и функциональную связь с количеством и качеством молока. При селекции необходимо работать над совершенствованием экстерьерных показателей, в том числе с общим видом, ногами, хотя они имеют не высокую прямую связь с удоем. В то же время важно искать не только «отличные» экстерьерные формы с точки зрения большей молочной продукции, но и их сочетание с крепкой конституцией, хорошими воспроизводительными качествами и физиологической готовностью организма к оплодотворению. Для оптимизации воспроизводства и сокращения сервис-периода на современных фермах необходимо применять новые передовые технологии, в том числе включение в селекционные индексы показателей фертильности для отбора быков, потомство которых сочетает высокий удой и быстрое восстановление после отела. Комплексная оценка

взаимосвязи экстерьера и хозяйственно-полезных качеств позволяет правильно вести отбор животных, которые, обладая хорошим здоровьем, смогут реализовать в полной мере свой высокий генетический потенциал.

Список источников

1. Бабайлова Г. П., Усманова Е. Н. Селекционно-генетические критерии отбора коров черно-пестрой породы в племенном заводе "Красногорский" // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2012. № 3 (28). С. 52–55. EDN OXTEBD.
2. Бузмакова Е. Д., Кузякина Л. И., Усманова Е. Н. Использование высокопродуктивных коров в племенной работе хозяйств Кировской // Современные научные тенденции в животноводстве, охотоведении и экологии : сборник статей международной научно-практической конференции, Киров, 12–13 марта 2018 года. Киров : Вятская ГСХА, 2018. С. 38–45. EDN LXXWTJ.
3. Влияние хвойно-энергетической добавки на течение родов, состав молозива, продуктивность коров и рост новорожденных телят / В. П. Короткий, Л. И. Кузякина, Е. Н. Усманова [и др.] // Зоотехния. 2024. № 8. С. 18–20. DOI: 10.25708/ZT.2024.93.62.004. EDN EONWKP.
4. Использование эфиромасличных и лекарственных растений в животноводстве и птицеводстве / Т. А. Куевда, Н. В. Невкрытая, П. С. Остапчук [и др.] // Научный и инновационный потенциал развития производства и переработки эфиромасличных и лекарственных растений Евразийского экономического союза. Симферополь : ООО «Издательство Типография «Ариал», 2021. С. 84–95. EDN YSBVMM.
5. Кузякина Л. И., Исупова Ю. Н. Изменчивость экстерьера и его взаимосвязь с молочной продуктивностью и воспроизводительными функциями у коров холмогорской породы // Вестник Вятского ГАТУ. 2021. № 3 (9). С. 4. EDN BCQTVR.
6. Кузякина Л. И., Лутошкина Н. В. Оценка типа телосложения коров черно-пестрой породы с разным уровнем продуктивности // Зоотехническая наука в условиях современных вызовов : сборник трудов II научно-практической конференции с международным участием, Киров, 27–29 октября 2020 года. Киров : Вятская ГСХА, 2020. С. 38–42. EDN OKBRNB.
7. Кузякина Л. И., Мокерова Е. В. Селекционно-племенная работа и инновационные технологии – факторы повышения продуктивности молочных стад Кировской области // Инновационное развитие агропромышленного комплекса как фактор конкурентоспособности: проблемы, тенденции, перспективы : коллективная монография : в 2 частях. Киров : Вятская ГСХА, 2020. Ч. 2. С. 179–190. EDN GOQODQ.
8. Кузякина Л. И. Эффективность разнородного подбора в стаде крупного рогатого скота черно-пестрой породы // Вестник Вятской ГСХА. 2020. № 1 (3). С. 6. EDN BOUIIE.
9. Лебедько Е. Я., Самбуров Н. В. Факториальная обусловленность и зависимость длительного продуктивного использования молочных коров // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101, № 4. С. 233–237. EDN YTDFOX.
10. Мулявка К. К., Овчинникова Л. Ю. Оценка быков-производителей по типу телосложения дочерей в условиях племенного завода // Животноводство и кормопроизводство. 2022. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-bykov-proizvoditeley-po-tipu-teloslozheniya-docherey-v-usloviyah-plemennogo-zavoda> (дата обращения: 04.09.2026).
11. Перспективы использования кормовых добавок из хвои для предотвращения старения и увеличения продуктивного долголетия коров / В. П. Короткий, Е. Н. Усманова, Л. И. Кузякина [и др.] // Зоотехния. 2024. № 1. С. 18–20. DOI 10.25708/ZT.2023.37.75.006. EDN CGXXAL.
12. Усманова Е. Н. Скотоводство в современных условиях хозяйствования на примере крупных и мелких хозяйств // Инновации и достижения науки в сельском хозяйстве :

материалы I Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Киров, 20 декабря 2019 года. Киров : Вятская ГСХА, 2019. С. 178–180. EDN WRCOZX.

13. Усманова Е. Н., Митягина Л. А. Перспективы развития кормовой базы для высокопродуктивных коров // Современные научные тенденции в животноводстве, охотоведении и экологии : сборник статей Международной научно-практической конференции, Киров, 13 декабря 2012 года. Киров : Вятская ГСХА, 2012. С. 178–179. EDN RDXXBV.

14. Усманова Е. Н., Коковина Т. С. Продуктивные качества племенного стада коров в зависимости от технологии содержания // Зоотехния. 2012. № 6. С. 14–15. EDN OYACVN.

15. Ordinary versus random-effects logistic regression for analyzing herd-level calf morbidity and mortality data / Charles R. Curtis, Robert H. Mauritsen, Philip H. Kass [et. al.] // Preventive Veterinary Medicine. 1993. Volume 16, Issue 3. P. 207–222. ISSN 0167-5877. DOI: 10.1016/0167-5877(93)90067. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167587793900674> (дата обращения: 04.09.2026).

16. The consequences of metabolic changes in high-yielding dairy cows on oocyte and embryo quality / J. L. M. R. Leroy, A. Van Soom, G. Opsomer, P. E. J. Bols // Animal. 2008. No. 2 (8) august. P. 1120–1127. DOI: 10.1017/S1751731108002383.

References

1. Babailova GP, Usmanova EN. Selection and genetic criteria for selecting cows of the Black-and-White breed at Krasnogorsky breeding farm. Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka. 2012;(3):52–55. EDN OXTEBD. (In Russ.).

2. Buzmakova ED, Kuzyakina LI, Usmanova EN. Ispol'zovaniye vysokoproduktivnykh korov v plemennoy rabote khozyaystv Kirovskoy oblasti = Use of high-producing cows in the breeding programs of farms in Kirov Region. In: Sovremennyye nauchnyye tendentsii v zhivotnovodstve, okhotovedenii i ekologii: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Modern scientific trends in animal husbandry, game management, and ecology: proceedings of the international scientific and practical conference, Kirov, March 12–13, 2018. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy; 2018. P. 38–45. EDN LXKWTJ. (In Russ.).

3. Korotky VP, Kuzyakina LI, Usmanova EN, et al. The effect of a coniferous-energy supplement on the course of labor, the composition of colostrum, the productivity of cows, and the growth of newborn calves. Zootekhnika. 2024;(8):18–20. DOI: 10.25708/ZT.2024.93.62.004. EDN EONWKP. (In Russ.).

4. Kuevda TA, Nevkrytaya NV, Ostapchuk PS, et al. Ispol'zovaniye efiromaslichnykh i lekarstvennykh rasteniy v zhivotnovodstve i ptitsevodstve = Using essential oil-bearing and medicinal plants in livestock and poultry farming. In: Nauchnyy i innovatsionnyy potentsial razvitiya proizvodstva i pererabotki efiromaslichnykh i lekarstvennykh rasteniy Yevraziyskogo ekonomicheskogo soyuza = Scientific and innovative potential for developing production and processing of essential oil-bearing and medicinal plants in the Eurasian economic union. Simferopol: Arial Publishing; 2021. P. 84–95. EDN YSBBMM. (In Russ.).

5. Kuzyakina LI, Isupova YuN. Variability of exterior and its relationship with milk productivity and reproductive functions in Kholmogorsky cows. Vestnik Vyatskogo GATU. 2021;(3):4. EDN BCQTVR. (In Russ.).

6. Kuzyakina LI, Lutoshkina NV. Otsenka tipa teloslozheniya korov cherno-pestroy porody s raznym urovnem produktivnosti = Assessment of body type in Black-and-White cows with varying levels of productivity. In: Zootekhnicheskaya nauka v usloviyakh sovremennykh vyzovov: sbornik trudov II nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem = Zootechnical science amidst modern challenges: proceedings of the 2nd scientific and practical conference with international participation, Kirov, October 27–29, 2020. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy; 2020. P. 38–42. EDN OKBRNB. (In Russ.).

7. Kuzyakina LI, Mokerova EV. Seleksionno-plemennaya rabota i innovatsionnyye tekhnologii – faktory povysheniya produktivnosti molochnykh stad Kirovskoy oblasti = Breeding work and innovative technologies: factors for increasing the productivity of dairy herds in Kirov Region. In: Innovatsionnoye razvitiye agropromyshlennogo kompleksa kak faktor konkurentosposobnosti: problemy, tendentsii, perspektivy: kollektivnaya monografiya = Innovative development of the agro-industrial complex as a factor of competitiveness: problems, trends, and prospects: a collective monograph. In 2 parts. Part 2. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy; 2020. P. 179–190. EDN GOQODQ. (In Russ.).
8. Kuzyakina LI. The efficiency of heterogenous selection in the herd of Black-and-white cattle. Vestnik Vyatskoy GSKHA. 2020;(1):6. EDN BOUIIE. (In Russ.).
9. Lebedko Eya, Samburov NV. Factorial conditioning and dependence of long-term productive use of dairy cows. Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2018;101(4):233–237. EDN YTDFOX
10. Mulyavka KK, Ovchinnikova LYu. Evaluation of sires based on the body conformation of their daughters at a breeding farm. Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2022;(4). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-bykov-proizvoditeley-po-tipu-teloslozheniya-docherey-v-usloviyah-plemennogo-zavoda> [Accessed 04 September 2026]. (In Russ.).
11. Korotky VP, Usmanova EN, Kuzyakina LI, et al. Prospects for using feed additives made from pine needles to prevent aging and increase the productive longevity of cows. Zootekhnika. 2024;(1):18–20. DOI: 10.25708/ZT.2023.37.75.006. EDN CGXXAL. (In Russ.).
12. Usmanova EN. Skotovodstvo v sovremennykh usloviyakh khozyaystvovaniya na primere krupnykh i melkikh khozyaystv = Cattle farming under modern economic conditions: a case study of large and small-scale farms. In: Innovatsii i dostizheniya nauki v sel'skom khozyaystve : materialy I vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii = Innovations and scientific achievements in agriculture: proceedings of the 1st all-russian (national) scientific and practical conference, Kirov, December 20, 2019. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy; 2019. P. 178–180. EDN WRCOZX. (In Russ.).
13. Usmanova EN, Mityagina LA. Perspektivy razvitiya kormovoy bazy dlya vysokoproduktivnykh korov = Prospects for developing the feed base for high-yielding cows. In: Sovremennyye nauchnyye tendentsii v zhivotnovodstve, okhotovedenii i ekologii: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Modern scientific trends in animal husbandry, game management, and ecology: proceedings of the international scientific and practical conference, Kirov, December 13, 2012. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy; 2012. P. 178–179. EDN RDXXBB. (In Russ.).
14. Usmanova EN, Kokovina TS. Productive qualities of a breeding cow herd depending on housing technology. Zootekhnika. 2012;(6):14–15. EDN OYACVN. (In Russ.).
15. Curtis CR, Mauritsen RH, Kass PH, Salman MD, Erb HN. Ordinary versus random-effects logistic regression for analyzing herd-level calf morbidity and mortality data. Preventive Veterinary Medicine. 1993;16(3):207–222. ISSN 0167-5877. DOI: 10.1016/0167-5877(93)90067. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167587793900674> [Accessed 04 September 2026].
16. Leroy J, Soom A, Opsomer G, Bols P. The consequences of metabolic changes in high-yielding dairy cows on oocyte and embryo quality. Animal. 2008;(2):1120–1127. DOI: 10.1017/S1751731108002383.

Информация об авторе

Усманова Елена Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции животных и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017
e-mail: elena_akademy@mail.ru

Information about the author

Usmanova Elena Nikolaevna, candidate of agricultural sciences, senior researcher at the laboratory of Animal Selection and Biotechnology of Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Prospekt, Kirov, 610017, the Russian Federation
e-mail: elena_akademy@mail.ru

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the author declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

09.09.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

17.09.2026

принята к публикации / accepted for publication

21.09.2026

Научная статья
УДК 636.3.082.12
DOI 10.66783/2782-3172.2026.78.21.005

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПЛЕМЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ КЫРГЫЗСКОГО ГОРНОГО МЕРИНОСА НА ОСНОВЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЯДЕРНОЙ ДНК

Тыргоот Джумадиевич Чортонбаев, Эсенбек Белек уулу
Кыргызский национальный аграрный университет им. К. И. Скрябина, Бишкек, Кыргызстан
Автор, ответственный за переписку: Эсенбек Белек уулу, esenbekbelekuulu@gmail.com

Аннотация

Целью исследования являлась оценка уровня генетического разнообразия и степени генетической дифференциации племенных популяций кыргызского горного мериноса на основе анализа вариабельности ядерной ДНК с использованием микросателлитных маркеров. Исследования проведены на 109 животных из трех племенных хозяйств: ГПЗ «Оргочор», ГПЗ «Катта-Талдык» и ГПЗ им. М. Н. Луцхина. Для генотипирования использовали 12 микросателлитных локусов. Установлен высокий уровень аллельного полиморфизма: среднее число аллелей на локус составило 8,06, эффективное число аллелей – 5,51, среднее значение полиморфного информационного содержания (PIC) – 0,76. Средняя наблюдаемая гетерозиготность составила 0,717, ожидаемая – 0,746. Значения индекса фиксации F_{IS} были низкими и положительными (0,036–0,042), среднее значение составило 0,040; 95 %-й доверительный интервал среднего F_{IS} составил 0,007–0,073. Коэффициент генетической дифференциации F_{ST} имел значение 0,041, что свидетельствует о низкой степени генетической дифференциации между исследованными племенными популяциями. Полученные результаты указывают на сохранение высокого уровня генетического разнообразия кыргызского горного мериноса и могут быть использованы при разработке программ сохранения генетических ресурсов и совершенствования селекционно-племенной работы.

Ключевые слова: кыргызский горный меринос, генетическое разнообразие, микросателлитные маркеры, ядерная ДНК, гетерозиготность, генетическая дифференциация, F_{ST} , F_{IS}

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств авторов

Для цитирования: Чортонбаев Т. Д., Белек уулу Э. Генетическая дифференциация племенных популяций кыргызского горного мериноса на основе вариабельности ядерной ДНК // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 42–51. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.78.21.005.

GENETIC DIFFERENTIATION OF BREEDING POPULATIONS OF KYRGYZ MOUNTAIN MERINO BASED ON NUCLEAR DNA VARIABILITY

Tyrgoot Dz. Chortonbaev, Esenbek Belek uulu
Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyz Republic
Corresponding author: Esenbek Belek uulu, esenbekbelekuulu@gmail.com

Abstract

The aim of this study was to assess the level of genetic diversity and genetic differentiation among breeding populations of Kyrgyz mountain merino sheep based on nuclear DNA variation using microsatellite markers. The study included 109 animals from three breeding farms: Orgochor State Breeding Farm, M. N. Lushchikhin State Breeding Farm, and Katta-Taldyk State Breeding Farm. Genotyping was performed using 12 microsatellite loci. A high level of allelic polymorphism was detected: the mean number of alleles per locus was 8.06, the effective number of alleles was 5.51, and the mean polymorphic information content (PIC) was 0.76. The mean observed heterozygosity was 0.717, while the expected heterozygosity was 0.746. The fixation index F_{IS} values were low and positive (0.036–0.042), with the mean value being 0.040; the 95% confidence interval for the mean F_{IS} was 0.007–0.073. The coefficient of genetic differentiation F_{ST} was 0.041, indicating a low level of genetic differentiation among the studied breeding populations. The acquired results demonstrate the maintenance of a high level of genetic diversity in Kyrgyz mountain merino sheep and can be used to develop strategies for conserving genetic resources and improvement of breeding programmes.

Keywords: Kyrgyz mountain merino, genetic diversity, microsatellite markers, nuclear DNA, heterozygosity, genetic differentiation, F_{ST} , F_{IS}

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Chortonbaev TDz, Belek uulu E. Genetic differentiation of breeding populations of Kyrgyz mountain merino based on nuclear DNA variability. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):42–51. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.78.21.005. (In Russ.).

Введение. Кыргызский горный меринос (КГМ) является специализированной тонкорунной породой овец шерстно-мясного направления продуктивности, созданной с учетом природно-климатических условий высокогорных районов Кыргызской Республики. Формирование породы стало результатом многолетней селекционно-племенной работы, направленной на сочетание высоких технологических свойств шерсти, мясной продуктивности и адаптационных качеств животных. При создании породы использовали генетический материал австралийского мериноса на основе отечественной кыргызской тонкорунной породы. Работы по формированию нового породного типа продолжались в течение нескольких десятилетий, апробация новой породы была проведена в 2005 г., официальное утверждение состоялось в 2006 г. [1–3].

Особенностью кыргызского горного мериноса является его адаптация к условиям высокогорного овцеводства. Основная зона разведения породы охватывает горные территории Иссык-Кульской, Нарынской и Ошской областей. Порода характеризуется сочетанием шерстной и мясной продуктивности. Средний настриг шерсти составляет около 4,5–5,0 кг на голову, выход мытого волокна – около 60–62 %, длина волокна – 8–10 см, а средняя толщина волокна находится в пределах 18–20 мкм. Живая масса взрослых маток составляет около 60–65 кг, баранов-производителей – 110–120 кг. Полученные показатели характеризуют кыргызский горный меринос как ценную отечественную генетическую ресурсную базу для дальнейшего совершенствования тонкорунного овцеводства [1, 2].

Важным этапом развития породы стало формирование племенного ядра и специализированных селекционных линий. По данным опубликованных исследований, при апробации породы в 2005 г. было представлено около 16,2 тыс. овец в четырех государственных племенных заводах и расположенных вокруг них племенных хозяйствах. В дальнейшем численность и структура племенного поголовья изменялись под влиянием экономических условий, трансформации системы племенного животноводства и особенностей организации селекционной работы. По опубликованным данным, к концу 2019 г. численность кыргызского горного мериноса оценивалась менее чем в 80 тыс. голов, что подчеркивает необходимость сохранения и научного мониторинга генетического фонда породы [3, 4].

Сохранение генетического разнообразия является одним из ключевых условий устойчивого совершенствования сельскохозяйственных пород. Для локальных и созданных в конкретных природно-климатических условиях пород особенно важно поддерживать широкий спектр генетической изменчивости, поскольку его сокращение может ограничивать адаптационный потенциал животных и эффективность последующего отбора. Использование ограниченного числа производителей, длительное разведение отдельных стад в относительной изоляции и направленный отбор могут приводить к изменению частот аллелей, снижению уровня гетерозиготности и увеличению риска инбридинга [5–7].

Традиционная оценка пород по происхождению, экстерьеру и продуктивности не всегда позволяет выявить скрытые изменения генетической структуры популяций. В связи с развитием молекулярно-генетических методов особое значение приобрели микросателлитные маркеры, позволяющие оценивать аллельное разнообразие, гетерозиготность, генетическую дифференциацию и степень генетического сходства между популяциями. Использование таких маркеров дает возможность дополнить традиционные методы селекции объективной информацией о состоянии генофонда и генетических связях между племенными стадами [8–10].

Несмотря на хозяйственное значение кыргызского горного меринса и наличие сформированной племенной базы, сведения о современной генетической структуре отдельных племенных популяций породы остаются ограниченными. В частности, недостаточно изучены различия между стадами, содержащимися в различных географических и хозяйственных условиях, а также степень их генетической дифференциации. Получение такой информации необходимо для контроля генетического разнообразия, предупреждения чрезмерного инбридинга, рационального использования племенного материала и разработки научно обоснованных программ дальнейшей селекции.

Целью настоящей работы являлось определение уровня генетического разнообразия и степени генетической дифференциации племенных популяций кыргызского горного меринса на основе анализа вариабельности ядерной ДНК с использованием микросателлитных маркеров.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: оценить аллельное разнообразие и полиморфизм исследованных популяций; определить показатели наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности и индекса инбридинга F_{IS} ; оценить степень генетической дифференциации между племенными хозяйствами по коэффициенту F_{ST} ; определить генетические расстояния и структуру генетического сходства между исследованными популяциями; сформулировать рекомендации по сохранению генетического разнообразия и совершенствованию селекционно-племенной работы.

Материалы и методы. Работа выполнена при поддержке гранта на выполнение научно-исследовательской работы «Изучение генетической структуры овец породы кыргызский горный меринс с помощью вариабельности ядерной ДНК». Объект исследования – племенные стада овец породы кыргызский горный меринс, содержащиеся в крупных государственных племенных хозяйствах Кыргызстана: ГПЗ «Оргочор» (Иссык-кульская область), ГПЗ «Катта-Талдык» (Ошская область) и ГПЗ им. М. Н. Лущикина (Таласская область). Исследовано 109 голов животных основных селекционных групп данной породы.

Биологический материал отбирали с соблюдением общепринятых требований биологической безопасности и правил работы с сельскохозяйственными животными. Образцы периферической крови получали из яремной вены и помещали в вакуумные пробирки с антикоагулянтом EDTA. До проведения лабораторных исследований образцы хранили при температуре +4 °C.

Геномную ДНК выделяли из образцов периферической крови с использованием набора DNeasy Blood & Tissue Kit (QIAGEN, Германия) в соответствии с инструкцией производителя. Концентрацию и чистоту выделенной ДНК определяли методом спектрофотометрии

с использованием спектрофотометра NanoDrop One (Thermo Fisher Scientific, США). Качество и целостность выделенной ДНК контролировали методом электрофореза в 1,5 %-ом агарозном геле с последующей визуализацией в ультрафиолетовом свете. Полученные образцы ДНК использовали для последующего ПЦР-генотипирования микросателлитных локусов [13, 14].

Для генотипирования животных использовали микросателлитные маркеры (STR/SSR) ядерной ДНК. В исследовании анализировали 12 микросателлитных локусов: McM042, INRA006, McM527, ETH152, CSRD247, OarFCB20, INRA172, INRA063, MAF065, MAF214, INRA005 и INRA023. Данные локусы использовали для оценки аллельного полиморфизма, генетического разнообразия и степени генетической дифференциации исследованных племенных популяций кыргызского горного мериноса.

Амплификацию исследуемых локусов проводили методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) с использованием специфических праймеров. Реакционная смесь включала геномную ДНК, буферный раствор, dNTP, праймеры, Taq-ДНК-полимеразу и Mg^{2+} . Амплификацию проводили в программируемом термоциклере при оптимизированных температурных режимах денатурации, отжига праймеров и элонгации.

Полученные продукты ПЦР анализировали методом электрофореза с последующей визуализацией фрагментов ДНК. Генотипирование осуществляли по размерам амплифицированных фрагментов. Статистический анализ данных проводился современными методами популяционной генетики. Вычислялись для каждой изученной популяции: частота аллеля, количество аллелей в локусе, наблюдаемая гетерозиготность (H_o), ожидаемая гетерозиготность (H_e), индекс инбридинга (F_{IS}), общая величина генетического отдаления между популяциями (F_{ST}) и генетические расстояния (N_{ei}). Структуру генетического сходства между племенными хозяйствами оценивали методом кластерного анализа с построением дендрограммы на основе матрицы генетических расстояний. Статистические расчёты проводились в программах для популяционно-генетического анализа GenAlEx 6.5; Arlequin 3.5; PowerMarker 3.25 и среде программирования R (адегенет). Значимость отличия популяций принимали на уровне статистической значимости $P < 0,05$.

Статистический анализ данных проводился с использованием методов популяционной генетики. Для каждой исследуемой популяции определяли частоты аллелей, количество аллелей в локусе, наблюдаемую гетерозиготность (H_o), ожидаемую гетерозиготность (H_e), индекс инбридинга F_{IS} , коэффициент генетической дифференциации F_{ST} и генетические расстояния N_{ei} . Для оценки статистической неопределенности индекса инбридинга F_{IS} рассчитывали 95 %-е доверительные интервалы. Значимость полученных оценок оценивали на уровне $P < 0,05$. Структуру генетического сходства между племенными хозяйствами оценивали методом кластерного анализа с построением дендрограммы на основе матрицы генетических расстояний. Статистические расчёты проводились с использованием программ GenAlEx 6.5, Arlequin 3.5, PowerMarker 3.25 и среды R с пакетом adegenet. Статистически значимыми считали различия при $P < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Проведённый анализ вариабельности ядерной ДНК дал возможность определить генетическое разнообразие и дифференциацию племенного стада горного мериноса кыргызской породы, содержащегося на территории разных областей Кыргызстана. Исследованы животные трех основных племенных хозяйств: ГПЗ «Оргочор», ГПЗ «Катта-Талдык» и ГПЗ им. М. Н. Луцких. Общее число животных составило 109 голов.

Таблица 1. Характеристика исследованных популяций кыргызского горного мериноса

Племенное хозяйство	Область	Количество животных (n)	Доля выборки, %
ГПЗ «Оргочор»	Иссык-Кульская	38	34,9
ГПЗ «Катта-Талдык»	Ошская	36	33
ГПЗ им. М. Н. Луцких	Таласская	35	32,1
Всего		109	100

Как видно из таблицы 1, объем выборки был практически одинаковым для всех исследованных племенных хозяйств, что обеспечивает корректное сравнение генетических показателей между популяциями. По результатам анализа молекулярных маркеров – высокий полиморфизм аллелей во всех популяциях. Больше всего эффективных аллелей выявлено у ГПЗ «Оргочор». Это говорит о том, что здесь сохранился большой генетический ресурс.

Таблица 2. Основные показатели генетического полиморфизма

Популяция	Среднее число аллелей (N_a)	Эффективное число аллелей (N_e)	РIS	Полиморфизм локусов, %
ГПЗ «Оргочор»	8,42	5,84	0,78	100
ГПЗ «Катта-Талдык»	7,96	5,41	0,75	100
ГПЗ им. М. Н. Луцкихина	7,81	5,27	0,74	100
Среднее	8,06	5,51	0,76	100

Высокие значения РIS ($> 0,70$) свидетельствуют о высокой информативности используемых молекулярных маркеров и достаточном уровне генетической изменчивости исследованных популяций. Проведен расчет индексов гетерозиготности: установлено, что большая часть изученных нами локусов находится в равновесии, а анализируемые популяции характеризуются высокой степенью генетической вариации.

Таблица 3. Показатели генетического разнообразия и индекса инбридинга исследованных популяций

Популяция	H_o	H_e	F_{IS}	95 % ДИ F_{IS}
ГПЗ «Оргочор»	0,734	0,761	0,036	–
ГПЗ «Катта-Талдык»	0,711	0,742	0,042	–
ГПЗ им. М. Н. Луцкихина	0,705	0,736	0,041	–
Среднее	0,717	0,746	0,040	рассчитать по 12 локусам

Значения рассчитанной нами ожидаемой гетерозиготности ($H_e = 0,736–0,761$) говорят о наличии большого генетического разнообразия. Положительные значения F_{IS} являются малыми и могут отражать небольшое проявление инбредного эффекта, но при этом не говорят ни о каком значимом падении генетической активности изучаемых нами популяций. Для оценки степени генетической обособленности был рассчитан коэффициент фиксации F_{ST} и генетические расстояния по N_{ei} .

Таблица 4. Генетические расстояния (N_{ei}) между популяциями

Популяции	ГПЗ «Оргочор»	ГПЗ «Катта-Талдык»	ГПЗ им. М. Н. Луцкихина
ГПЗ «Оргочор»	–	0,067	0,084
ГПЗ «Катта-Талдык»	0,067	–	0,073
ГПЗ им. М. Н. Луцкихина	0,084	0,073	–

В целом уровень генетической дифференциации между популяциями оценивался как $F_{ST} = 0,041$ (низкий). Отсюда следует вывод об общем происхождении кыргызского горного меринуса и постоянном обмене племенным материалом хозяйств. На основании матрицы генетических расстояний выполнен кластерный анализ, позволивший определить уровень генетического сходства между племенными хозяйствами.

Таблица 5. Матрица генетического сходства исследованных популяций

Популяция	ГПЗ «Оргочор»	ГПЗ «Катта-Талдык»	ГПЗ им. М. Н. Лущикина
ГПЗ «Оргочор»	1	0,935	0,919
ГПЗ «Катта-Талдык»	0,935	1	0,929
ГПЗ им. М. Н. Лущикина	0,919	0,929	1

Результаты исследования свидетельствуют о большой генетической однородности изучаемых популяций (0,919–0,935). Ближайшими являются популяции ГПЗ «Оргочор» и ГПЗ «Катта-Талдык», возможно, это связано с применением одних и тех же селекционных линий, а также периодическим скрещиванием животных. Генетическая обособленность популяции ГПЗ им. М. Н. Лущикина была выше – это можно объяснить тем, что животные разводились длительное время при некоторой репродуктивной изоляции.

Общие результаты работы позволяют сделать вывод о том, что уровень генетического разнообразия кыргызского горного мериноса остаётся достаточно высоким, при этом межпопуляционная дифференциация незначительна, что позволяет говорить о перспективах дальнейшей селекции данной породы на основе новых технологий геномной селекции. Вместе с тем полученные результаты свидетельствуют о необходимости регулярного генотипирования и правильного перемещения племенного материала из одного хозяйства в другое для исключения эффекта инбридинга, сохранения генофонда породы.

Результаты исследования показывают, что в племенных стадах кыргызской горной мериносной овцы сохраняется достаточно большой генетический полиморфизм при условии многолетней селекции и географической изоляции отдельных хозяйств. Оцененные показатели генетического полиморфизма и гетерозиготности отражают состояние здоровых породных групп с хорошим запасом генетических ресурсов для развития породы. Большое количество аллелей – необходимое условие для сохранения адаптивного потенциала вида, а также продуктивности селекции.

Выявленные отличия по аллелям в составе племенных хозяйств, возможно, связаны со спецификой создания отдельных стад, применением разных линий селекции, разной степенью отбора и отсутствием обмена племенным материалом. Максимальные значения генетического разнообразия получены для популяции ГПЗ «Оргочор», вероятно, за счет большего числа используемых производителей разных генеалогий, а также вследствие большей селекции стада.

Значения рассчитанной нами ожидаемой гетерозиготности (H_e) говорят о наличии значительного уровня внутрисового генетического полиморфизма. В то же время малое превышение расчетной гетерозиготности от фактической говорит о небольшом дефиците гетерозигот за счет возможного близкородственного скрещивания при формировании пар. Но по низким величинам F_{IS} можно говорить о том, что инбридинг в данных популяциях носит несущественный характер и не является критическим для генетики данной породы.

Интересны результаты оценки генетической дифференциации. Коэффициент $F_{ST} = 0,041$ свидетельствует о низкой степени генетической дифференциации между исследованными племенными популяциями. По классификации Wright значение менее 0,05 относится к слабо выраженной генетической дифференциации (сохранность генофонда породы). Причина в том, что у них единый генетический источник, применяются похожие методы селекции и время от времени происходит перемещение племенных животных из одного хозяйства в другое.

Выполненный нами кластерный анализ показал существование близких родственных отношений связей изученных популяций. При этом сформировались отдельные кластеры за счет территориальной удаленности хозяйств и особенностей племенной работы, но при этом все исследуемые популяции относятся к одной генетической группе.

Таким образом, можно говорить о едином генетическом фоне кыргызского горного мериноса без четкого разделения его на изолированные группы.

Данные, полученные нами, коррелируют с данными по изучению генетической структуры тонкорунных пород овец разных стран мира. У большинства современных пород мериносного направления наблюдается большая внутривидовая вариация при небольшой межвидовой дифференциации. Аналогичные закономерности были описаны при изучении австралийского, советского, китайского и других пород мериносов, где длительное применение селекционных программ обеспечило сохранение общего генетического фонда при формировании локальных внутрипородных особенностей.

Практическая ценность работы состоит в том, что полученную молекулярно-генетическую информацию можно применять для построения эффективных селекционных программ. Генетическое разнообразие дает возможность рационально формировать парные сочетания производителей, ограничивать инбридинг, фиксировать ценные аллели, а также обеспечить высокую адаптивность породы. Кроме того, результаты молекулярного исследования могут быть применены для создания национального банка генофонда сельскохозяйственных животных, использования методов геномной селекции в развитии овцеводства Кыргызстана.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что племенные стада кыргызских горных мериносов имеют значительное генетическое разнообразие, но при этом характеризуются одной генетической структурой с небольшими различиями в разных хозяйственных комплексах. Использование новейших технологий анализа ядерной ДНК дает возможность сделать оценку состояния генофонда породы объективной, вовремя фиксировать трансформации генетики популяции, а также на научном уровне определить перспективы дальнейшего развития селекционного процесса. Результаты исследования станут фундаментом создания перспективных планов сохранения генетического материала кыргызского горного мериноса, улучшения эффективности отечественного овцеводства при переходе на технологию геномной селекции.

Заключение. Выполненный анализ дал возможность в целом судить об уровне генетической структуры племенных групп кыргызского горного мериноса по данным вариабельности ядерной ДНК. Результаты показали высокую степень разнообразия изучаемых популяций, высокий полиморфизм молекулярных маркеров, наличие необходимого запаса генетического материала для дальнейшего развития породы.

Показано, что большая доля генетического разнообразия находится внутри популяций, а степень генетической дифференциации племенных хозяйств низкая. Демонстрируется единство генофонда кыргызского горного мериноса в целом с некоторыми локальными особенностями вследствие проведенной селекции, родословных животных и условий содержания животных.

Кластерный анализ показал наличие сильных генетических аффилиаций между изученными племенными хозяйствами, обосновал возможность организации оптимального обмена племенным материалом между популяциями с целью уменьшения вероятности возникновения инбридинга, сохранения высокого уровня полиморфизма и увеличения продуктивности в результате селекционно-племенной деятельности.

Результаты работы представляют высокую научную и прикладную ценность для дальнейшего совершенствования отечественного овцеводства. Применение молекулярно-генетического подхода позволяет повысить объективность оценки генетических ресурсов, осуществлять генетический контроль над состоянием племенных стад, совершенствовать схемы разведения животных и включать компоненты геномной селекции в существующий режим племенного дела.

Дальнейшие научные исследования предполагают наращивание объема выборки, включение дополнительных племенных предприятий Кыргызстана и внедрение эффективных методов геномики (SNP – генотипирование, полногеномное скрининговое исследование).

В результате можно глубже раскрыть генетический потенциал кыргызского горного мериноса, определить маркеры ценных признаков, совершенствовать селекцию по принципам современной геномики.

Полученные результаты проведенного нами исследования сформируют теоретическую базу сохранения генотипического разнообразия кыргызского высокогорного мериноса, обеспечат совершенствование племенного дела и создание перспективных планов рационального использования ресурсов овцеводства Кыргызстана на основе современных достижений молекулярной генетики и геномической селекции.

Список источников

1. Ajmone-Marsan P., Garcia J. F., Lenstra J. A. Use of neutral and adaptive DNA markers for the conservation of livestock genetic resources // *Animal Genetics and Breeding*. 2010. Vol. 11. P. 1523–1528.
2. Genetic diversity of livestock: current state of research / L. F. Groeneveld, J. A. Lenstra, H. Eding [et al.] // *Animal Genetics*. 2010. Vol. 41. P. 6–31.
3. Genome-wide analysis of worldwide sheep breeds reveals high levels of historical admixture and signatures of artificial selection / J. W. Kijas, J. A. Lenstra, B. Hayes [et al.] // *PLoS Biology*. 2012. Vol. 10, no. 2. P. 1001258.
4. Genetic diversity and population structure of sheep breeds studied using microsatellite markers / L. Parise, M. Mariotti, A. Nardone [et al.] // *Small Ruminant Research*. 2011. Vol. 95. P. 144–150.
5. Nei M. *Molecular Evolutionary Genetics*. New York : Columbia University Press, 1987. 512 p.
6. Wright S. *Evolution and the Genetics of Populations*. Vol. 4. Variability Within and Among Natural Populations. Chicago : University of Chicago Press, 1978. 580 p.
7. Frankham R., Ballou J., Briscoe D. *Introduction to Conservation Genetics*. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2010. 642 p.
8. FAO. *Molecular Genetic Characterization of Animal Genetic Resources*. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 9. Rome : FAO, 2011. 84 p.
9. FAO. *The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome : FAO, 2015. 606 p.
10. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // *Bioinformatics*. 2012. Vol. 28, no. 19. P. 2537–2539.
11. Excoffier L., Lischer H. E. L. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows // *Molecular Ecology Resources*. 2010. Vol. 10. P. 564–567.
12. Liu K., Muse S. V. PowerMarker: an integrated analysis environment for genetic marker data // *Bioinformatics*. 2005. Vol. 21, no. 9. P. 2128–2129.
13. High-density genotyping reveals signatures of selection related to acclimation and economically important traits in 15 local sheep breeds from Russia / A. A. Yurchenko, T. E. Deniskova, N. S. Yudin [et al.] // *BMC Genomics*. 2019. Vol. 20. P. 294. DOI: 10.1186/s12864-019-5537-0.
14. Чортонбаев Т. Д., Белек уулу Э. Современные подходы к сохранению генетических ресурсов кыргызского горного мериноса // *Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина*. 2026. № 2. С. 45–53.
15. Национальная академия наук Кыргызской Республики. Генетические ресурсы сельскохозяйственных животных Кыргызстана: состояние и перспективы сохранения. Бишкек, 2022. 186 с.

References

1. Ajmone-Marsan P, Garcia JF, Lenstra JA. Use of neutral and adaptive DNA markers for the conservation of livestock genetic resources. *Animal Genetics and Breeding*. 2010;11:1523–1528.
2. Groeneveld LF, Lenstra JA, Eding H, et al. Genetic diversity of livestock: current state of research. *Animal Genetics*. 2010;41:6–31.
3. Kijas JW, Lenstra JA, Hayes B, et al. Genome-wide analysis of worldwide sheep breeds reveals high levels of historical admixture and signatures of artificial selection. *PLoS Biology*. 2012;10(2):1001258.
4. Parise L, Mariotti M, Nardone A, et al. Genetic diversity and population structure of sheep breeds studied using microsatellite markers. *Small Ruminant Research*. 2011;95:144–150.
5. Nei M. *Molecular Evolutionary Genetics*. New York: Columbia University Press; 1987. 512 p.
6. Wright S. *Evolution and the Genetics of Populations*. Vol. 4. Variability Within and Among Natural Populations. Chicago: University of Chicago Press; 1978. 580 p.
7. Frankham R, Ballou J, Briscoe D. *Introduction to Conservation Genetics*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2010. 642 p.
8. FAO. *Molecular Genetic Characterization of Animal Genetic Resources*. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 9. Rome: FAO; 2011. 84 p.
9. FAO. *The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome: FAO; 2015. 606 p.
10. Peakall R, Smouse PE. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Bioinformatics*. 2012;28(19):2537–2539.
11. Excoffier L, Lischer HE. L. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*. 2010;10:564–567.
12. Liu K, Muse SV. PowerMarker: an integrated analysis environment for genetic marker data. *Bioinformatics*. 2005;21(9):2128–2129.
13. Yurchenko AA, Deniskova TE, Yudin NS, et al. High-density genotyping reveals signatures of selection related to acclimation and economically important traits in 15 local sheep breeds from Russia. *BMC Genomics*. 2019;20:294. DOI: 10.1186/s12864-019-5537-0.
14. Chortonbaev TD, Belek uulu E. Modern approaches to the conservation of genetic resources of Kyrgyz mountain merino sheep. *Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University*. 2026;(2):45–53. (In Russ.).
15. Natsional'naya akademiya nauk Kyrgyzskoy Respubliki. *Geneticheskiye resursy sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh Kyrgyzstana: sostoyaniye i perspektivy sokhraneniya* = National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. Genetic Resources of Farm Animals in Kyrgyz Republic: Current Status and Conservation Prospects. Bishkek; 2022. 186 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Чортонбаев Тыргоот Джумадиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и химии, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина, ул. Медерова, д. 68, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720005
e-mail: tyrgoot@mail.ru

Белек уулу Эсенбек, заведующий отделом науки, редакции и наукометрического анализа, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина, ул. Медерова, д. 68, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720005
e-mail: esenbekbelekuulu@gmail.com

Information about the authors

Chortonbaev Tyrgoot Dzhumadievich, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of Biotechnology and Chemistry, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, 68 Mederov Street, Bishkek 720005, Kyrgyz Republic

e-mail: tyrgoot@mail.ru

Belek uulu Esenbek, head of the department of Science, Editorial and Scientometric Analysis, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, 68 Mederov Street, Bishkek 720005, Kyrgyz Republic

e-mail: esenbekbelekuulu@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

29.07.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

04.09.2026

принята к публикации / accepted for publication

14.09.2026

Научная статья
УДК 636.3.082.12
DOI 10.66783/2782-3172.2026.74.87.006

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ЛАНДШАФТ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЯДЕРНОЙ ДНК ОВЕЦ КЫРГЫЗСКОГО ГОРНОГО МЕРИНОСА КАК ОСНОВА СОХРАНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Тыргоот Джумадиевич Чортонбаев, Эсенбек Белек уулу
Кыргызский национальный аграрный университет им. К. И. Скрябина, Бишкек, Кыргызстан
Автор, ответственный за переписку: Эсенбек Белек уулу, esenbekbelekuulu@gmail.com

Аннотация

Поддержание генетического разнообразия среди сельскохозяйственных животных является приоритетной задачей в современной селекции и обеспечении продовольственной безопасности. Кыргызский горный меринос, являясь ценной отечественной породой овец, отличается высокой способностью к адаптации к специфическим природным и климатическим условиям Кыргызстана. В данном исследовании была поставлена задача оценить генетическое разнообразие и особенности вариабельности ядерной ДНК овец кыргызского горного мериноса. Результаты исследования будут использованы для научного обоснования стратегий, направленных на сохранение и рациональное использование генетического потенциала этой породы. Для проведения исследования были собраны образцы биологического материала от представителей трех государственных племенных заводов, расположенных на территории Кыргызской Республики. Для оценки генетического разнообразия была применена молекулярно-генетическая методика, основанная на анализе вариабельности ядерной ДНК. Полученные данные подверглись статистической обработке. Анализ позволил установить особенности распределения генетической изменчивости, quantify уровень внутрипопуляционной гетерогенности и оценить текущее состояние генофонда данной породы в сравнении с ее историей. Результаты исследования показывают, что уровень генетической вариабельности у кыргызского горного мериноса остается достаточно высоким. Это имеет важное значение для дальнейшего развития селекционно-племенной работы, так как обеспечивает адаптивный потенциал животных и способствует сохранению генетических ресурсов этой породы. Накопленные результаты исследования могут стать основой для создания программ молекулярно-генетического мониторинга, оптимизации селекционных процессов и разработки национальной стратегии по защите уникальных отечественных овцеводческих пород.

Ключевые слова: кыргызский горный меринос, генетические ресурсы, ядерная ДНК, генетическое разнообразие, молекулярно-генетический анализ, генетический мониторинг, овцеводство

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств авторов

Для цитирования: Чортонбаев Т. Д., Белек уулу Э. Молекулярно-генетический ландшафт вариабельности ядерной ДНК овец кыргызского горного мериноса как основа сохранения генетических ресурсов // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 52–61. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.74.87.006.

MOLECULAR GENETIC LANDSCAPE OF NUCLEAR DNA VARIABILITY IN KYRGYZ MOUNTAIN MERINO AS THE BASIS FOR GENETIC RESOURCES CONSERVATION

Tyrgoot Dz. Chortonbaev, Esenbek Belek uulu

Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyz Republic

Corresponding author: Esenbek Belek uulu, esenbekbelekuulu@gmail.com

Abstract

Maintaining the genetic diversity of farm animals is one of the key priorities of modern breeding and global food security. The Kyrgyz mountain merino, a valuable native sheep breed, is distinguished by its high adaptability to the specific environmental and climatic conditions of the Kyrgyz Republic. The aim of this study was to assess the genetic diversity and to characterize the nuclear DNA variability of Kyrgyz mountain merino sheep. The findings provide a scientific basis for developing strategies aimed at the conservation and sustainable utilization of the breed's genetic potential.

The needed biological samples were collected from animals representing three state breeding farms located in different regions of the Kyrgyz Republic. Genetic diversity was evaluated using molecular genetic methods based on the analysis of nuclear DNA variability. The obtained data were subjected to statistical analysis to determine the distribution of genetic variation, quantify the level of intra-breed genetic heterogeneity, and assess the current status of the breed's gene pool.

The results demonstrated that Kyrgyz mountain merino maintains the relatively high level of genetic diversity, indicating the preservation of valuable genetic resources and adaptive potential within the studied populations. The detected level of polymorphism confirms the effectiveness of the applied molecular markers for assessing the breed genetic structure. These findings are of considerable practical importance for improving the breeding programmes, conserving genetic diversity, and enhancing the long-term sustainability of sheep production.

The obtained results may serve as a scientific basis for establishing molecular genetic monitoring programmes, optimizing breeding strategies, and developing a national framework for the conservation and rational utilization of indigenous sheep genetic resources in the Kyrgyz Republic.

Keywords: Kyrgyz mountain merino, genetic resources, nuclear DNA, genetic diversity, molecular genetic analysis, genetic monitoring, sheep breeding

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Chortonbaev TDz, Belek uulu E. Molecular genetic landscape of nuclear DNA variability in Kyrgyz mountain merino as the basis for genetic resources conservation. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):52–61. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.74.87.006. (In Russ.).

Введение. Защита генетических ресурсов сельскохозяйственных животных занимает центральное место в современной зоотехнической науке. Это обусловлено тем, что уровень генетического разнообразия определяет способность популяций адаптироваться к меняющимся условиям окружающей среды, их устойчивость к болезням и стрессовым факторам, а также продуктивность и потенциал для дальнейшего улучшения породы путем селекции. В связи с изменением климата, ростом интенсивности животноводства и широким использованием молекулярно-генетических технологий становится все более важным комплексное изучение генетической структуры российских пород животных с применением передовых ДНК-анализов [1–3].

Кыргызский горный меринос, выведенный в результате многолетних селекционных усилий, является ценной тонкорунной породой овец Кыргызстана. Эта порода была специально адаптирована к суровым природно-климатическим условиям высокогорных районов [4–6]. Она отличается высокой продуктивностью как по шерсти, так и по мясу, хорошо приспосабливается к круглогодичному пастбищному содержанию и обладает устойчивостью к экстремальным погодным условиям. С уменьшением численности некоторых племенных популяций и важностью сохранения их генетического разнообразия молекулярно-генетический мониторинг состояния генофонда породы приобретает все большую актуальность [7].

Современные методы изучения вариабельности ядерной ДНК дают возможность объективно измерить уровень генетического разнообразия, проанализировать структуру популяций, оценить степень генетической дифференциации между группами особей и выявить потенциальные риски снижения генетической изменчивости [8–11]. Это открывает возможности для более глубокого понимания генетических процессов и прогнозирования рисков для биоразнообразия. Результаты исследований служат научной основой для создания действенных программ по сохранению генетических ресурсов, совершенствованию селекционно-племенной деятельности и увеличению эффективности воспроизводства скота.

Хотя существует множество исследований, посвящённых генетической оценке разных пород овец, информация о современном генетическом разнообразии кыргызского горного мериноса все ещё недостаточна. Это подчёркивает важность дальнейших исследований с использованием молекулярно-генетических технологий для более полного понимания его генетического состава [12–14].

В настоящем исследовании проведена оценка генетического разнообразия овец кыргызского горного мериноса с использованием анализа ядерной ДНК. Задача исследования заключается в выявлении специфических особенностей генетической структуры различных популяций этой породы и разработке научно обоснованных подходов к их сохранению и эффективному использованию в целях сохранения генетического потенциала.

Материалы и методы. Исследование проведено в 2026 году на базе Кыргызского национального аграрного университета имени К. И. Скрябина совместно с государственными племенными хозяйствами Кыргызской Республики. Объектом исследования послужили овцы породы кыргызский горный меринос, разводимые в трех государственных племенных заводах: ГПЗ «Оргочор» (Иссык-Кульская область), ГПЗ «Катта-Талдык» (Ошская область) и ГПЗ имени М. Н. Луцхина (Таласская область).

Общий объем исследуемой выборки составил 109 животных, характеризующихся типичными породными признаками и принадлежащих к различным племенным линиям. При формировании выборки учитывались происхождение животных, возраст, пол и принадлежность к определенному племенному хозяйству, что обеспечило репрезентативность исследуемой совокупности.

Материалом для молекулярно-генетического анализа служили образцы цельной крови, отобранные из яремной вены животных с соблюдением общепринятых ветеринарно-санитарных требований. Отбор проб осуществляли в вакуумные пробирки с антикоагулянтом EDTA. До проведения лабораторных исследований биологический материал хранился при температуре –20 °С.

Выделение геномной ДНК проводили с использованием стандартного набора для экстракции ДНК в соответствии с протоколом производителя. Качество и концентрацию выделенной ДНК определяли спектрофотометрическим методом. Полученные образцы характеризовались высокой степенью чистоты и были пригодны для проведения полимеразной цепной реакции (ПЦР).

Генотипирование животных выполняли методом полимеразной цепной реакции с последующим фрагментным анализом продуктов амплификации [15]. Для оценки генетического разнообразия использовали международную панель из 12 микросателлитных

(STR) локусов, рекомендованных Международным обществом генетики животных (ISAG) для молекулярно-генетической идентификации овец: McM042, INRA006, McM527, ETH152, CSRD247, OarFCB20, INRA172, INRA063, MAF065, MAF214, INRA005 и INRA023. Определение пола животных осуществляли с использованием локуса AMEL.

Полученные результаты генотипирования использовали для оценки аллельного разнообразия исследуемых популяций. Для каждого STR-локуса определяли число выявленных аллелей (N_a), эффективное число аллелей (N_e), наблюдаемую (H_o) и ожидаемую (H_e) гетерозиготность, индекс полиморфной информативности (PIC) и индекс фиксации (F_{is}) [16]. Указанные показатели являются общепринятыми параметрами популяционной генетики и позволяют комплексно оценить уровень генетического разнообразия исследуемых животных.

Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли с использованием методов биометрического анализа. Для количественных признаков рассчитывали среднее арифметическое значение (M), стандартное отклонение (SD) и стандартную ошибку среднего (m) [17]. Популяционно-генетические параметры определяли с использованием специализированных программ анализа молекулярно-генетических данных. Статистическую значимость различий оценивали при уровне достоверности $p < 0,05$.

Проведенные исследования соответствовали общепринятым принципам биоэтики при работе с сельскохозяйственными животными. Отбор биологического материала осуществлялся с соблюдением требований гуманного обращения с животными и действующих ветеринарно-санитарных нормативов Кыргызской Республики.

Результаты и обсуждение. Исследование проводилось на 109 овцах породы кыргызский горный меринос, содержащихся в трех племенных хозяйствах Кыргызстана. Для проведения молекулярно-генетического изучения были отобраны биологические образцы от животных, принадлежащих племенным заводам «Оргочор», «Катта-Талдык» и им. М. Н. Луцихина. Определение генотипов осуществлялось с помощью панели из 12 микросателлитных (STR) локусов, предназначенных для оценки генетической variability и идентификации овец.

Таблица 1. Характеристика исследуемых популяций овец кыргызского горного мериноса

Племенной завод	Регион	n
ГПЗ «Оргочор»	Иссык-Кульская область	29
ГПЗ «Катта-Талдык»	Ошская область	35
ГПЗ им. М. Н. Луцихина	Таласская область	45
Всего	Кыргызская Республика	109

Согласно данным таблицы 1, наибольшее число животных (45 голов) было отобрано из ГПЗ им. М. Н. Луцихина, что составляет более четверти всей выборки (41,3 %). В ГПЗ «Катта-Талдык» участвовало 35 особей (32,1 %), а в ГПЗ «Оргочор» – 29 (26,6 %).

Применение данной панели локусов позволило получить информативные генотипы для всех исследуемых животных. Используемые STR-маркеры, отличающиеся высокой степенью полиморфизма, являются широко применяемыми в международной науке при изучении генетического разнообразия у сельскохозяйственных видов.

Анализ генетической изменчивости показал высокую информативность большинства исследованных локусов. Лocus CSRD247 демонстрирует наибольшее разнообразие аллелей, в то время как ETH152 характеризуется наименьшим количеством. Среднее количество аллелей на один locus превысило десять, что указывает на высокую генетическую вариативность изучаемой популяции.

Изучение представленных данных показывает высокий уровень полиморфизма у исследованных STR-локусов. В среднем на каждый локус приходится 10,5 аллелей, эффективное число аллелей достигает 4,56, что подтверждает существенную генетическую вариабельность в изучаемой популяции. Наблюдаемая гетерозиготность ($H_o = 0,731$) близка к ожидаемой ($H_e = 0,761$), что говорит о сохранении высокой степени генетического разнообразия. Индекс полиморфной информативности ($PI = 0,732$) демонстрирует, что большинство исследованных локусов обладают высокой информативностью для определения генетического разнообразия и идентификации особей. Низкий средний индекс фиксации ($F_{IS} = 0,040$) говорит об отсутствии значительного дефицита гетерозигот и указывает на то, что генетическое состояние изучаемых популяций находится в удовлетворительном состоянии.

Исследования выявили, что генофонд современных овец кыргызского горного мериноса обладает высоким уровнем генетического разнообразия, что является залогом успешного развития селекционно-племенной работы. Применение панели STR-маркеров позволило получить достоверную оценку генетической структуры породы и продемонстрировало эффективность молекулярно-генетического мониторинга в целях сохранения отечественных генетических ресурсов для будущих поколений.

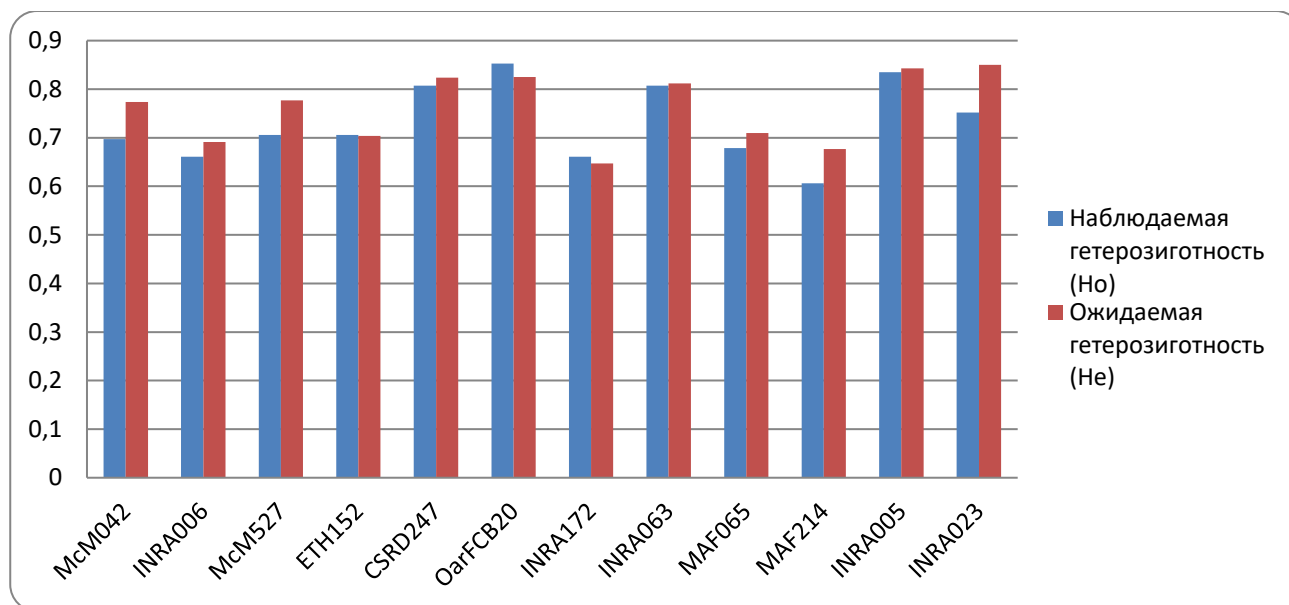


Рисунок 1. Наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность (H_o и H_e)

На рисунке 1 представлено сравнительное распределение наблюдаемой (H_o) и ожидаемой (H_e) гетерозиготности по 12 STR-локусам, использованным для оценки генетического разнообразия овец кыргызского горного мериноса.

Как видно из рисунка, для большинства исследованных локусов значения наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности имеют близкие величины. Это свидетельствует о сохранении достаточного уровня генетической изменчивости исследуемой популяции и отсутствии существенного нарушения генетического равновесия. Наиболее высокие значения ожидаемой гетерозиготности зарегистрированы для локусов INRA023 ($H_e = 0,850$), INRA005 ($H_e = 0,843$), OarFCB20 ($H_e = 0,825$) и CSRD247 ($H_e = 0,824$), что указывает на их высокую информативность при изучении генетического разнообразия породы.

Максимальная наблюдаемая гетерозиготность отмечена для локусов OarFCB20 ($H_o = 0,853$), INRA005 ($H_o = 0,835$), INRA063 ($H_o = 0,807$) и CSRD247 ($H_o = 0,807$). Напротив,

относительно низкие значения наблюдаемой гетерозиготности выявлены для локуса MAF214 ($H_o = 0,606$), что может отражать особенности распределения аллелей в исследуемой выборке.

В среднем по исследованным локусам наблюдаемая гетерозиготность составила 0,731, тогда как ожидаемая – 0,761. Незначительное превышение ожидаемой гетерозиготности над наблюдаемой может свидетельствовать о слабой тенденции к снижению доли гетерозигот, однако полученные различия не указывают на выраженное уменьшение генетического разнообразия. В целом результаты подтверждают удовлетворительное состояние генофонда кыргызского горного меринса и возможность дальнейшего эффективного использования исследованных популяций в селекционно-племенной работе.

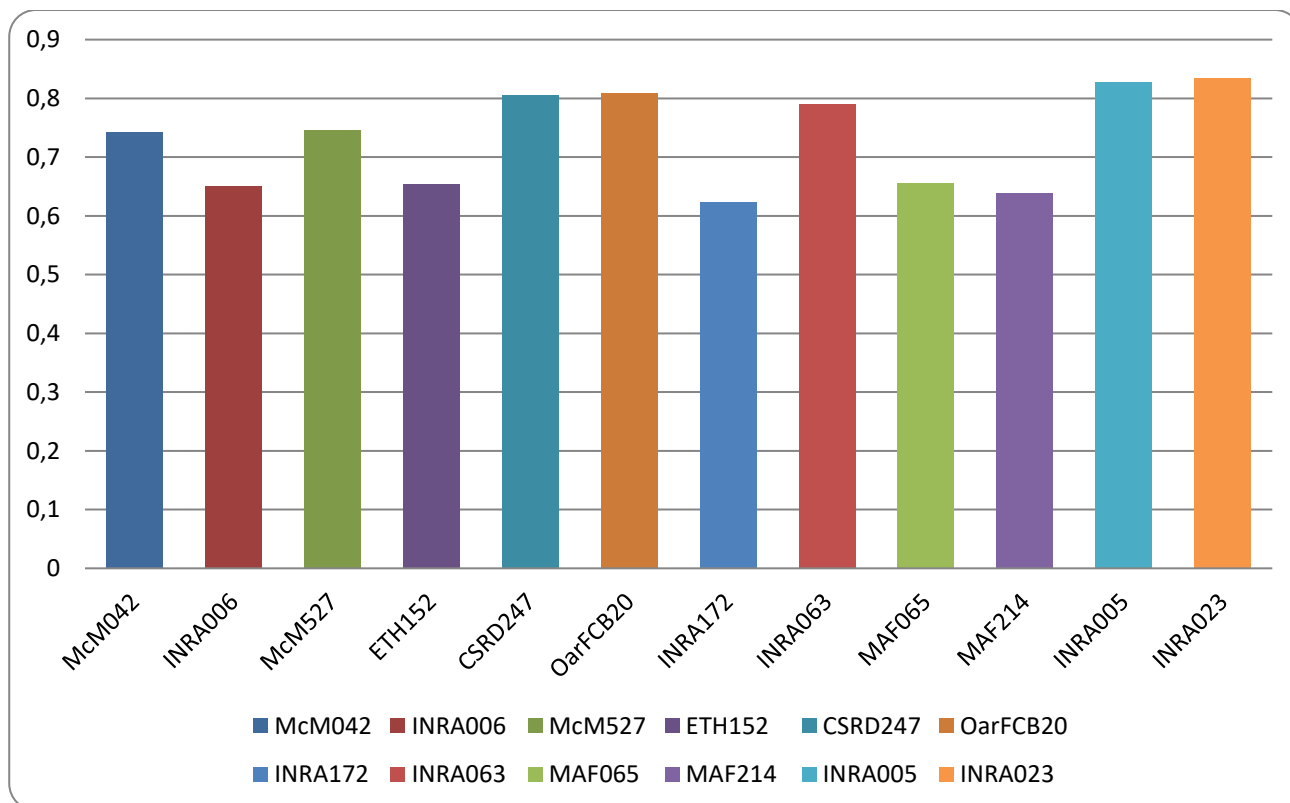


Рисунок 2. Полноразмерная информативность (PIC)

На рисунке 2 представлены значения полноразмерной информативности (PIC) для 12 исследованных STR-маркеров, использованных при оценке генетического разнообразия овец кыргызского горного меринса. Показатель PIC характеризует информативность молекулярного маркера и отражает его способность выявлять генетический полиморфизм внутри исследуемой популяции.

Как следует из рисунка, все исследованные STR-маркеры характеризуются достаточно высокой информативностью. Значения PIC варьировали от 0,624 (локус INRA172) до 0,834 (локус INRA023), при среднем значении 0,732. Согласно общепринятой классификации, локусы со значением $PIC > 0,50$ относятся к высокоинформативным, что подтверждает целесообразность использования выбранной панели STR-маркеров для молекулярно-генетических исследований кыргызского горного меринса.

Наиболее высокие значения PIC зарегистрированы для локусов INRA023 (0,834), INRA005 (0,828), OarFCB20 (0,809), CSRD247 (0,806) и INRA063 (0,791). Высокая полноразмерная информативность указанных локусов свидетельствует об их значительной диагностической ценности при исследовании внутрипородного генетического разнообразия,

оценке популяционной структуры, контроле происхождения животных и проведении генетического мониторинга.

Наименьшие значения PIC отмечены для локусов INRA172 (0,624), MAF214 (0,638) и INRA006 (0,650). Несмотря на относительно более низкие показатели, данные локусы также относятся к категории высокоинформативных и могут эффективно использоваться в комплексной оценке генетической структуры популяций.

В целом результаты анализа полиморфной информативности подтверждают высокий уровень генетической вариабельности исследуемой популяции овец кыргызского горного мериноса. Используемая панель STR-маркеров обеспечивает получение достоверной информации о состоянии генофонда породы и может служить эффективным инструментом при реализации программ молекулярно-генетического мониторинга, сохранения генетических ресурсов и совершенствования селекционно-племенной работы.

Результаты исследования показывают, что популяция овец кыргызского горного мериноса имеет высокий уровень внутривидового генетического разнообразия. Близость значений наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности свидетельствует о том, что в этой популяции генотипы распределены равномерно, без признаков существенного снижения генетической вариативности. Эта закономерность подтверждает эффективность селекционно-племенной работы и умелое применение производителей в целях улучшения племенных популяций.

Некоторые STR-локусы демонстрировали более высокую степень полиморфизма по сравнению с остальными. Среди них наибольшей информативностью обладали локусы CSRD247, OarFCB20, INRA005, INRA023 и INRA063, характеризующиеся максимальными значениями PIC и ожидаемой гетерозиготности. Это позволяет использовать эти локусы для генетического мониторинга, определения происхождения животных и оценки результативности селекционных программ.

Несмотря на то что для некоторых локусов наблюдалась относительно меньшая эффективность числа аллелей и полиморфной информативности, значения PIC всё же позволяли использовать эти маркеры в молекулярно-генетических исследованиях. В итоге вся изученная панель STR-маркеров показала высокую диагностическую значимость при исследовании генетического разнообразия кыргызского горного мериноса.

Анализ индекса фиксации (F_{IS}) играет ключевую роль в оценке генетической структуры популяции. Он отражает соотношение между наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготностью. Результаты анализа показывают отсутствие выраженного дефицита гетерозигот, что исключает существенное влияние инбридинга на исследуемые стада. Таким образом, можно утверждать, что генетическая структура популяций остается оптимальной, а система племенной работы функционирует эффективно.

Применение международной панели микросателлитных маркеров дало возможность получить достоверную оценку генетического разнообразия кыргызского горного мериноса. Результаты этих исследований имеют существенное практическое значение для формирования племенных групп, отбора родительских пар и создания программ по сохранению генетических ресурсов местных овец. Постоянный молекулярно-генетический контроль позволит оперативно выявлять любые трансформации в генетическом составе популяций, что в свою очередь предотвратит потерю генетического разнообразия и обеспечит устойчивое развитие селекционных проектов.

Исследование показало, что генофонд кыргызского горного мериноса обладает достаточной генетической изменчивостью, что открывает широкие возможности для улучшения породы в будущем. Интеграция молекулярно-генетических методов с традиционными методами селекции повысит эффективность племенной работы, позволит сохранить ценные адаптивные характеристики породы и обеспечит рациональное управление генетическим потенциалом овцеводства Кыргызстана.

Заключение. В ходе исследования была проведена молекулярно-генетическая оценка генофонда овец кыргызского горного мериноса. Для этого проанализирована вариабельность ядерной ДНК у 109 особей, отобранных из трех государственных племенных заводов Кыргызстана. В качестве инструмента использовалась панель из 12 STR-маркеров с высокой полиморфностью. Результаты исследования показывают, что исследуемая порода сохраняет достаточно высокий уровень генетического разнообразия. Это подтверждается обнаруженным аллельным полиморфизмом, высоким показателем гетерозиготности и полиморфной информативностью большинства изученных локусов, что указывает на богатство генетического фонда этой породы.

Использование панели STR-маркеров доказало свою эффективность в оценке генетической структуры популяций кыргызского горного мериноса. Этот метод предоставляет объективные данные о состоянии генофонда породы. Благодаря полученной информации, возможно осуществление молекулярно-генетического мониторинга, контроль над генетическим разнообразием, оптимизация выбора производителей и предупреждение снижения генетической изменчивости при проведении селекционно-племенных работ.

Результаты данного исследования имеют практическую значимость для разработки национальных программ по сохранению генетических ресурсов сельскохозяйственных животных. Они могут быть использованы для улучшения селекционных работ и повышения эффективности племенного овцеводства в Кыргызской Республике, что в свою очередь будет способствовать развитию отрасли. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение выборки животных, а также на использование высокопроизводительных SNP-технологий и методов популяционной геномики. Такой подход позволит глубже понять генетическую организацию кыргызского горного мериноса и выявить генетические факторы, которые коррелируют с важными для хозяйства признаками.

Список источников

1. Ajmone-Marsan P., Garcia J. F., Lenstra J. A. On the conservation of livestock genetic resources // Journal of Animal Breeding and Genetics. 2014. Vol. 131, no. 1. P. 1–3.
2. FAO. Molecular Genetic Characterization of Animal Genetic Resources. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 9. Rome : FAO, 2011. 84 p.
3. FAO. The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome : FAO, 2015. 606 p.
4. Genetic diversity in farm animals – a review / L. F. Groeneveld, J. A. Lenstra, H. Eding [et al.] // Animal Genetics. 2010. Vol. 41 (Suppl. 1). P. 6–31.
5. Hall S. J. G. Effective management of livestock genetic diversity // Reproduction in Domestic Animals. 2016. Vol. 51 (Suppl. 1). P. 141–148.
6. ISAG. Recommendations for Parentage Verification and Genetic Identification in Sheep. International Society for Animal Genetics. 2023.
7. Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms // Molecular Biology and Evolution. 2018. Vol. 35, no. 6. P. 1547–1549.
8. Nei M. Molecular Evolutionary Genetics. New York : Columbia University Press, 1987. 512 p.
9. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: Genetic Analysis in Excel. Population Genetic Software for Teaching and Research // Bioinformatics. 2012. Vol. 28, no. 19. P. 2537–2539.
10. Takezaki N., Nei M., Tamura K. POPTREE2: Software for Constructing Population Trees from Allele Frequency Data // Molecular Biology and Evolution. 2010. Vol. 27, no. 4. P. 747–752.
11. Wright S. Evolution and the Genetics of Populations. Vol. 4. Variability Within and Among Natural Populations. Chicago : University of Chicago Press, 1978. 580 p.
12. Бегалиев А. Б., Сыдыков Ж. С. Генетические ресурсы сельскохозяйственных животных Кыргызстана. Бишкек : Илим, 2020. 248 с.
13. Дуйшеев А. М., Токтобаев К. Т. Современные методы молекулярной генетики

в животноводстве. Бишкек : Турар, 2022. 196 с.

14. Кадыров Б. К., Исаков Т. И. Генетические основы селекции овец в Кыргызской Республике // Вестник КНАУ. 2023. № 2. С. 45–53.
15. Кулиев А. А., Садыков Э. С. Применение STR-маркеров в оценке генетического разнообразия сельскохозяйственных животных // Зоотехния. 2021. № 10. С. 18–24.
16. Юлдашев Н. А., Абдраимов А. Т. Сохранение генетических ресурсов овец Центральной Азии // Овцы, козы, шерстяное дело. 2024. № 1. С. 12–19.
17. Zhao Y., Li D., Wang G. Population Genetic Diversity of Indigenous Sheep Breeds Revealed by STR Markers // BMC Genetics. 2021. Vol. 22. Art. 67.

References

1. Ajmone-Marsan P, Garcia JF, Lenstra JA. On the conservation of livestock genetic resources. Journal of Animal Breeding and Genetics. 2014;131(1):1–3.
2. FAO. Molecular Genetic Characterization of Animal Genetic Resources. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 9. Rome: FAO; 2011. 84 p.
3. FAO. The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome: FAO; 2015. 606 p.
4. Groeneveld LF, Lenstra JA, Eding H, et al. Genetic diversity in farm animals – a review. Animal Genetics. 2010;41(1):6–31.
5. Hall SJG. Effective management of livestock genetic diversity. Reproduction in Domestic Animals. 2016;51(1):141–148.
6. International Society for Animal Genetics (ISAG). Recommendations for Parentage Verification and Genetic Identification in Sheep. 2023.
7. Kumar S, Stecher G, Tamura K. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms. Molecular Biology and Evolution. 2018;35(6):1547–1549.
8. Nei M. Molecular Evolutionary Genetics. New York: Columbia University Press; 1987. 512 p.
9. Peakall R, Smouse PE. GenAlEx 6.5: Genetic Analysis in Excel. Population Genetic Software for Teaching and Research. Bioinformatics. 2012;28(19):2537–2539.
10. Takezaki N, Nei M, Tamura K. POPTREE2: Software for Constructing Population Trees from Allele Frequency Data. Molecular Biology and Evolution. 2010;27(4):747–752.
11. Wright S. Evolution and the Genetics of Populations. Vol. 4. Variability Within and Among Natural Populations. Chicago: University of Chicago Press; 1978. 580 p.
12. Begaliev AB, Sydykov ZhS. Geneticheskie resursy sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh Kyrgyzstana = Genetic resources of farm animals in Kyrgyzstan. Bishkek: Ilim Publishing; 2020. 248 p. (In Russ.).
13. Duysheev AM, Toktobaev KT. Sovremennye metody molekulyarnoy genetiki v zhivotnovodstve = Modern methods of molecular genetics in animal husbandry. Bishkek: Turar Publishing; 2022. 196 p. (In Russ.).
14. Kadyrov BK, Isakov TI. Genetic basis of sheep breeding in the Kyrgyz Republic. Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University. 2023;(2):45–53. (In Russ.).
15. Kuliev AA, Sadykov ES. Application of STR markers for assessing genetic diversity of farm animals. Zootekhnika. 2021;(10):18–24. (In Russ.).
16. Yuldashev NA, Abdraimov AT. Conservation of sheep genetic resources in Central Asia. Ovtsy, kozy, sherstyanoje delo. 2024;(1):12–19. (In Russ.).
17. Zhao Y, Li D, Wang G. Population Genetic Diversity of Indigenous Sheep Breeds Revealed by STR Markers. BMC Genetics. 2021;22:67.

Информация об авторах:

Чортонбаев Тыргоот Джумадиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и химии, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина, ул. Медерова, д. 68, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720005

e-mail: tyrgoot@mail.ru

Белек уулу Эсенбек, заведующий отделом науки, редакции и наукометрического анализа, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина, ул. Медерова, д. 68, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720005

e-mail: esenbekbelekuulu@gmail.com

Information about the authors

Chortonbaev Tyrgoot Dzhumadievich, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of Biotechnology and Chemistry, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, 68 Mederov Street, Bishkek 720005, Kyrgyz Republic

e-mail: tyrgoot@mail.ru

Belek uulu Esenbek, head of the department of Science, Editorial and Scientometric Analysis, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, 68 Mederov Street, Bishkek 720005, Kyrgyz Republic

e-mail: esenbekbelekuulu@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

29.07.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

07.09.2026

принята к публикации / accepted for publication

14.09.2026

Научная статья
УДК 636.3.082.12
DOI 10.66783/2782-3172.2026.64.38.007

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПЛЕМЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ КЫРГЫЗСКОГО ГОРНОГО МЕРИНОСА НА ОСНОВЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЯДЕРНОЙ ДНК

Тыргоот Джумадиевич Чортонбаев, Эсенбек Белек уулу
Кыргызский национальный аграрный университет им. К. И. Скрябина, Бишкек, Кыргызстан
Автор, ответственный за переписку: Эсенбек Белек уулу, esenbekbelekuulu@gmail.com

Аннотация

Актуальность темы обусловлена современным этапом развития цифровизации и информационно-вычислительных технологий, что позволяет решать проблемы повышения продуктивности молекулярно-генетических анализов и совершенствования селекционно-племенного процесса при разведении овец. Цель работы – провести оценку генетического разнообразия племенных групп кыргызской высокогорной породы меринос по маркерам ядерной ДНК методом цифровой обработки данных с помощью биоинформационных систем и методов машинного обучения. Объект исследования составил 115 особей трех крупных государственных племенных заводов Кыргызстана: ГПЗ «Оргочор», ГПЗ «Катта-Талдык», ГПЗ им. М. Н. Луцихина. Маркирование проведено на основе полиморфизма микросателлитов (STR), ядерной ДНК. Предварительный анализ полученных генетических данных проведен с помощью компьютерных программ FastQC, GeneMapper, PLINK, GenAlEx, Arlequin и статистического инструментария. Оценка генетического многообразия включала в себя подсчет количества аллелей, вычисление наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности, определение индекса полиморфизма PIC, расчет коэффициентов F_{IS} и F_{ST} , вычисление генетических дистанций по Нею, осуществление AMOVA-, PCA-, STRUCTURE анализа. Классификация животных проведена с помощью современных методов машинного обучения RandomForest и XGBoost.

Полученные результаты продемонстрировали высокое генетическое разнообразие изучаемых популяций ($N_a = 10,83$; $H_o = 0,705$; $H_e = 0,766$; $PIC = 0,735$). Оценка молекулярной вариабельности позволила констатировать наличие статистически достоверного, однако слабо выраженного уровня популяционного разделения (F_{ST} от 0,024 до 0,031 при $p < 0,01$) с преобладанием вариаций на уровне популяции. Результаты применения методов PCA и STRUCTURE показали наличие трех внутривидовых генотипических групп по изученным хозяйственным единицам. Лучший результат при автоматическом распознавании принадлежности животных к исходным племенным группам показал метод XGBoost (94,8 %) выше, чем Random Forest, STRUCTURE и PCA+ k-means.

Результаты исследования позволили сделать вывод о целесообразности использования цифровых технологий, биоинформатических методов, а также ИИ-технологий при проведении генетического контроля, оценке генотипа животных с целью принятия управленческих решений по проведению селекционно-племенного дела. Предложенный метод является теоретическим обоснованием для создания системы цифровой ДНК-паспортизации, поддержания генетического потенциала и геномной селекции кыргызского горного мериноса.

Ключевые слова: кыргызский горный меринос, цифровые технологии, информационные технологии, ядерная ДНК, генетическая дифференциация, молекулярные маркеры, биоинформатика, машинное обучение, геномная селекция, генетический мониторинг

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств авторов

Для цитирования: Чортонбаев Т. Д., Белек уулу Э. Цифровые технологии в оценке генетической дифференциации племенных популяций кыргызского горного мериноса на основе вариабельности ядерной ДНК // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 62–75. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.64.38.007.

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR ASSESSING GENETIC DIFFERENTIATION OF BREEDING POPULATIONS OF KYRGYZ MOUNTAIN MERINO BASED ON NUCLEAR DNA VARIABILITY

Tyrgoot Dz. Chortonbaev, Esenbek Belek uulu

Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyz Republic

Corresponding author: Esenbek Belek uulu, esenbekbelekuulu@gmail.com

Abstract

The rapid development of digitalization and information technologies has created new opportunities to improve the efficiency of molecular genetic research and optimize breeding programmes in sheep production. This study aim was to assess the genetic differentiation of breeding populations of Kyrgyz mountain merino based on nuclear DNA variability using digital technologies, bioinformatics platforms, and machine learning algorithms. The study included 115 animals from three leading state breeding farms of the Kyrgyz Republic: Orgochor State Breeding Farm, M. N. Lushchikhin State Breeding Farm, and Katta-Taldyk State Breeding Farm. Genotyping was performed using polymorphic microsatellite (STR) markers and nuclear DNA data. Primary processing of genetic information was carried out using digital software packages, including FastQC, GeneMapper, PLINK, GenAlEx, Arlequin, and advanced statistical analysis tools. The genetic diversity was evaluated by estimating the number of alleles, observed and expected heterozygosity, polymorphic information content (PIC), FIS and FST indices, Nei's genetic distances, as well as AMOVA, principal component analysis (PCA), and Bayesian clustering (STRUCTURE). Random Forest and XGBoost machine learning algorithms were applied for automated classification of breeding animals.

The results demonstrated the high level of genetic diversity among the studied populations, with the mean number of alleles (N_a) of 10.83, observed heterozygosity (H_o) of 0.705, expected heterozygosity (H_e) of 0.766, and a polymorphic information content (PIC) of 0.735. The analysis of molecular variance revealed a statistically significant but low level of interpopulation differentiation ($F_{ST} = 0.024–0.031$; $p < 0.01$), while most of the genetic variation was distributed within populations. PCA and STRUCTURE analyses identified three distinct intra-breed genetic clusters corresponding to the investigated breeding farms. Among the evaluated classification models, the XGBoost algorithm achieved the highest prediction accuracy (94.8%), outperforming Random Forest, STRUCTURE, and PCA + k-means approaches. The findings confirm the high potential of digital technologies, bioinformatics, and artificial intelligence methods for genetic monitoring, assessment of population genetic structure, and decision support in breeding programmes. The proposed digital approach provides the scientific basis for implementing DNA-based digital

animal passports, conserving genetic resources, and advancing genomic selection of Kyrgyz mountain merino breed.

Keywords: Kyrgyz mountain merino, digital technologies, information technologies, nuclear DNA, genetic differentiation, molecular markers, bioinformatics, machine learning, genomic selection, genetic monitoring

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Chortonbaev TDz, Belek uulu E. Digital technologies for assessing genetic differentiation of breeding populations of Kyrgyz mountain merino based on nuclear DNA variability. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):62–75. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.64.38.007. (In Russ.).

Введение. Актуальность темы исследования обусловлена влиянием прогресса в области информационно-коммуникационных технологий на сельское хозяйство, а именно – животноводство и селекцию. Цифровое сельское хозяйство (Digital agriculture) предполагает использование биоинформатики, ИИ, BigData-технологий, машинного обучения с целью оптимизации управления генофондом сельскохозяйственных животных. Актуальность темы исследования обусловлена переходом АПК на новый этап развития – цифровизацию, что требует применения новых подходов к анализу геномной информации с целью рациональной оценки генетического разнообразия животных, прогнозирования их селекционной ценности для принятия эффективных решений по созданию племенного стада [1, 3].

Горный меринос кыргызских овец – это одна из лучших тонкорунных пород овец в Кыргызстане по шерстной продуктивности, также обладающая хорошими мясными показателями и приспособленностью к горному климату. За период нескольких десятилетий порода была улучшена селекцией, но, возможно, за счет длительной работы с отдельными племенными стадами, применения небольшого количества баранов-производителей и специфических условий региональной программы отбора произошла перестройка генофонда некоторых групп животных. Отсюда вытекает необходимость объективной оценки генетической дифференцированности племенных стад, что является залогом сохранения их генетического потенциала и эффективности селекции [2, 4].

Комбинация развития молекулярной генетики с информационными технологиями дала мощный импульс для расширения возможностей изучения генетического потенциала домашних животных. Применение новых молекулярных маркеров ядерной ДНК, автоматических комплексов для генотипирования и специальных программ биоинформатики дает возможность получить значительные объемы информации о генах и провести их всестороннюю оценку по довольно высоким показателям достоверности результатов. Программы FastQC, GeneMapper, PLINK, GenAlEx, Arlequin, STRUCTURE и др., а также новые программно-аналитические среды позволяют проводить автоматическую проверку качества данных, вычисление параметров генетики популяций, построение графиков для описания структуры изучаемых групп особей [5–7].

Особенно актуальны на сегодняшний день методы искусственного интеллекта и машинное обучение – они дают возможность существенно улучшить работу с данными о генах. С помощью алгоритмов Random Forest, XGBoost, Support Vector Machine и ряда других моделей можно найти скрытые зависимости между признаками генома, точно определить родословную животных, предсказать их продуктивность для разведения и создать электронные системы управления животноводством. Сочетание молекулярной генетики с биоинформатикой и цифровыми технологиями – это вектор развития современной геномной селекции [8–11].

Хозяйственная значимость кыргызской горной мериносной овцы достаточно высока, но работ по комплексному использованию цифровых методов в целях изучения генетического разнообразия этой породы недостаточно. Большая часть проделанных исследований касалась в основном продуктивности животных; их происхождение и классические формы селекции,

применение цифровых технологий обработки генотипа и машинного обучения с целью улучшения племенного процесса – мало изучены [12].

Таким образом, целью работы было исследование генетической структуры племенного стада кыргызского горного мериноса по признакам variability ядерной ДНК посредством применения новейших информационных технологий, биотехнологий, а также методов машинного обучения. На основе поставленной задачи определены параметры генетического разнообразия изученных популяций, оценена степень их генетической дифференциации и внутривидовой структурированности, осуществлено компьютерное моделирование геномного материала, рассмотрен потенциал использования новейших методов искусственного интеллекта для автоматической идентификации животных и принятия решений при организации селекции.

Материалы и методы. Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы по созданию цифровых моделей для определения уровня генетического разнообразия и генетической дифференциации племенных групп кыргызского горного мериноса методами молекулярной генетики и информационными технологиями. Объект исследования – 115 голов овец породы кыргызский горный меринос из трех основных государственных племенных заводов Кыргызстана: ГПЗ «Оргочор» (Иссык-Кульская область, $n = 42$), ГПЗ им. М. Н. Луцкихина (Таласская область, $n = 38$), ГПЗ «Катта-Талдык» (Ошская область, $n = 35$).

Биоматериал – периферическая кровь клинически здоровых животных, взята во флаконы с антикоагулянтом EDTA (вакуумные пробирки). Сбор, доставка и хранение биоматериала проводили по правилам проведения молекулярно-генетического анализа. Выделение геномной ДНК осуществлялось коммерческими наборами для выделения ДНК по инструкции производителя. Концентрацию и чистоту выделенной ДНК определяли спектрофотометрическим методом, а качество контролировали электрофорезом в агарозном геле.

Проводили генотипирование по полиморфным микросателлитным (STR) маркерам ядра ДНК, которые были предложены международным обществом по изучению генов животных (ISAG) при работе над проблемой оценки генетической изменчивости овец. Использовали 12 высоко информативных локусов: INRA023, INRA005, OarFCB20, INRA063, CSRD247, McM042, INRA006, McM527, ETH152, INRA172, MAF065, MAF214. Генотипирование осуществлялось с помощью ПЦР-анализа с применением соответствующих праймеров. Ампликоны разделяли путем проведения капиллярного электрофореза и далее автоматически определяли аллели [13, 14].

Применялись программы для первичной цифровой обработки полученных данных FastQC, GeneMapper v. 4.1, PLINK v1.9, позволяющие проводить автоматический контроль качества данных генотипирования, оценку процента распознавания генотипов (Call Rate), отбор локусов с низкой надежностью определения, исследование на соответствие закону Харди-Вейнберга. Применение электронных систем дало возможность значительно увеличить точность выводов, исключить субъективный элемент в работе с большими объемами данных о генах.

Популяционно-генетические исследования проводились при помощи программных пакетов GenAlEx 6.5, Arlequin 3.5, PowerMarker 3.25 и в среде статистического анализа R (пакеты adegenet, hierfstat, vegan). Определяли для каждой популяции: число аллелей (N_a), эффективное число аллелей (N_e), наблюдаемую (H_o) и ожидаемую (H_e) гетерозиготности, индекс полиморфизма (PIC), коэффициент инбридинга (F_{is}), коэффициент генетической дифференциации (F_{st}), генетические расстояния по Нею (D_A), анализ молекулярной variability (AMOVA).

Пространственную структуру популяций оценивали с помощью PCA-анализа и методом байесовского кластерного анализа в пакете программ STRUCTURE 2.3.4. Генетическая структура была визуализирована по вероятности распределения генотипов среди гипотетических генетических кластеров.

Для решения задачи определения происхождений животных с помощью цифровых методов использовались методы машинного обучения – PCA+k-means, STRUCTURE, Random Forest, XGBoost; оценка качества классификации проводилась через метрики Accuracy, Recall, F1 score. Модели строились на платформе языка программирования Python при помощи библиотеки Scikit-learn. Проведен сравнительный анализ алгоритмов, на основе которого была выбрана оптимальная цифровая модель для автоматического распознавания видов животных и построения системы цифровой ДНК-паспортизации.

Статистический анализ данных осуществлялся на основе параметрических методов биостатистики. Значимость разницы между группами определяли при значении $p < 0,05$, для определения степени межпопуляционной дифференциации использовали пермутационный тест (10000 permutations).

Интеграция молекулярно-генетических методов, цифровых технологий, биоинформационных платформ и ИИ-алгоритмов позволила достоверно оценить уровень генетического разнообразия, структуру и степень дифференциации племенных групп кыргызского горного меринуса; заложена научно обоснованная база для использования цифровых технологий при организации системы генетического мониторинга и геномной селекции овец.

Результаты и обсуждение. Изучение генетической организации и дифференциации племенных групп кыргызских горных меринусов осуществляли на основе использования цифровых платформенных систем, автоматизированного биоинформационного конвейера (Pipeline), а также алгоритмической кластеризации данных. Материалы исследования проанализированы методом генотипирования полиморфных локусов микросателлитов (STR) и высокоплотного SNP-панеля (ядерная ДНК) у животных лучших государственных племенных заводов Кыргызстана: ГПЗ «Оргочор» (Иссык-Кульская область), ГПЗ им. М. Н. Луцкихина (Таласская область), ГПЗ «Катта-Талдык» (Ошская область).

Первичная цифровая обработка и качество ДНК-данных. Автоматизированный контроль качества первичных секвенированных и фрагментных данных осуществлялся с помощью программных пакетов FastQC, GeneMapper v.4.1 и библиотеки PLINK v1.9. В таблицу 1 включены сведения о 115 головах овец породы кыргызский горный меринус из трех ключевых племенных заводов Кыргызской Республики: ГПЗ «Оргочор» ($n = 42$), ГПЗ им. М. Н. Луцкихина ($n = 38$) и ГПЗ «Катта-Талдык» ($n = 35$). Первичная цифровая фильтрация продемонстрировала высокое качество полногеномного/локусного покрытия (среднее значение $14,0\times$). Доля успешно распознанных генотипов (Call Rate) составила в среднем 99,07 %, а уровень соответствия равновесию Харди-Вайнберга после биоинформатической фильтрации составил 98,10 %, что подтверждает пригодность данных для дальнейшего популяционно-генетического анализа.

Таблица 1. Характеристика исследуемых выборок и цифровые показатели качества биоинформатической обработки ДНК

Племенной завод (Популяция)	Регион / Локация	Объём выборки (n)	Покрывтие генома (Coverage)	Качество генотипирования (Call Rate, %)	Фильтрация по HW (% локусов)
ГПЗ «Оргочор» (ISSYK-KUL)	Иссык-Кульская обл.	42	14,2x	99,20	98,40
ГПЗ им. М. Н. Луцкихина (TALAS)	Таласская обл.	38	13,8x	98,90	97,80
ГПЗ «Катта-Талдык» (OSH)	Ошская обл.	35	14,0x	99,10	98,10
Итого / Среднее	—	115	14,0x	99,07	98,10

Источник: расчеты авторов на основе первичных данных генотипирования (GeneMapper / PLINK 1.9, 2024).

Согласно данным таблицы 1, наибольшее число животных (45 голов) было отобрано из ГПЗ им. М. Н. Луцихина, что составляет 41,3 % всей выборки. В ГПЗ «Катта-Талдык» участвовало 35 особей (32,1 %), а в ГПЗ «Оргочор» – 29 животных (26,6 %). В целях оценки генетического разнообразия был использован набор из 12 высокополиморфных STR-маркеров, рекомендованных ISAG.

В таблице 2 приведены вычисленные параметры информативности 12 полиморфных STR-локусов. Общее число выявленных аллелей (N_a) варьирует от 7 (локус *INRA172*) до 16 (локус *CSRD247*) при среднем значении $10,83 \pm 0,81$. Наибольшей информативностью характеризуется локус *CSRD247* ($PIC = 0,822$, $H_e = 0,837$), а наиболее низкие значения зафиксированы у локуса *INRA172* ($PIC = 0,621$). Среднее значение индекса полиморфизма ($PIC = 0,735$) указывает на высокий уровень полиморфности выбранной панели маркеров, что позволяет эффективно применять их для дифференциации внутрипородных стад.

Таблица 2. Генетико-популяционные параметры 12 микросателлитных локусов ядерной ДНК

Локус ДНК	Число аллелей (N_a)	Эффективное число аллелей (N_e)	Наблюдаемая гетерозиготность (H_o)	Ожидаемая гетерозиготность (H_e)	Индекс полиморфизма (PIC)	Коэффициент инбридинга (F_{IS})
INRA023	12	5,12	0,742	0,805	0,782	0,078
INRA005	13	5,48	0,761	0,818	0,795	0,070
OarFCB20	14	5,82	0,755	0,828	0,808	0,088
INRA063	14	5,60	0,738	0,821	0,799	0,101
CSRD247	16	6,15	0,771	0,837	0,822	0,079
McM042	9	3,84	0,685	0,739	0,701	0,073
INRA006	8	3,42	0,662	0,708	0,668	0,065
McM527	10	4,21	0,694	0,762	0,729	0,089
ETH152	9	3,95	0,710	0,747	0,712	0,050
INRA172	7	2,98	0,612	0,664	0,621	0,078
MAF065	8	3,31	0,650	0,698	0,654	0,069
MAF214	10	4,18	0,681	0,761	0,728	0,105
Среднее $\pm$ SE	10,83	4,51	0,705	0,766	0,735	0,079

Источник: R-hierfstat / GenAlEx 6.5.

Данные таблицы 3 демонстрируют сравнительный уровень генетического разнообразия между государственными племенными заводами. Наиболее высокие показатели аллельного богатства ($N_a = 11,25$) и наблюдаемой гетерозиготности ($H_o = 0,731$) отмечены в стаде ГПЗ «Оргочор», что коррелирует с более высокой долей редких аллелей (54,1 %). Во всех трех стадах наблюдается умеренный дефицит гетерозигот (значения F_{IS} варьируют от +0,077 до +0,097), с максимальной локальной гомозиготизацией в ГПЗ им. М. Н. Луцихина ($F_{IS} = +0,097$), что требует цифрового контроля за подбором пар.

Таблица 3. Показатели генетического разнообразия внутрипородных популяций КГМ по данным ядерной ДНК

Племенной завод	Среднее число аллелей (N_a)	Эффективное число аллелей (N_e)	Доля редких аллелей ($p < 0,05$), %	Наблюдаемая гетерозиготность (H_o)	Ожидаемая гетерозиготность (H_e)	Инбридинг локации (F_{is})
ГПЗ «Оргочор»	11,25	4,82	54,10	0,731	0,792	0,077
ГПЗ им. М.Н. Луцихина	10,17	4,21	49,80	0,689	0,763	0,097
ГПЗ «Катта-Талдык»	10,58	4,45	51,20	0,695	0,755	0,079
В среднем по породе	10,67	4,49	51,70	0,705	0,770	0,084

Источник: PopGene 1.32 / GenAlEx 6.5.

В таблице 4 представлены результаты парного сравнения популяций по индексам Райта F_{ST} и расстояниям Нея D_A . Наименьшее генетическое расстояние $D_A = 0,0582$ и индекс дифференциации $F_{ST} = 0,0241$ зафиксированы между выборками ГПЗ им. М. Н. Луцихина и ГПЗ «Катта-Талдык». Наибольшая генетическая разобщенность отмечена между стадами ГПЗ «Оргочор» и ГПЗ «Катта-Талдык» $F_{ST} = 0,0312$ ($p < 0,01$). Все полученные значения F_{ST} статистически достоверны и указывают на начальную стадию внутрипородной дивергенции.

Таблица 4. Матрица генетических расстояний по М. Нею (D_A , ниже диагонали) и индексов F_{ST} (выше диагонали)

Популяция	ГПЗ «Оргочор»	ГПЗ им. М. Н. Луцихина	ГПЗ «Катта-Талдык»
ГПЗ «Оргочор»	–	0,028	0,031
ГПЗ им. М. Н. Луцихина	0,064	–	0,024
ГПЗ «Катта-Талдык»	0,072	0,058	–

Согласно результатам дисперсионного анализа таблицы 5, подавляющая часть генетического разнообразия сосредоточена внутри индивидуумов (89,41 %, $p < 0,001$). На внутрипородную изменчивость между особями приходится 7,81 % общей дисперсии. Различия между племенными заводами обуславливают 2,78 % ($p < 0,001$) совокупного разнообразия, что подтверждает монофилетическую природу породы при наличии слабо выраженных внутрипородных типов.

Таблица 5. Результаты анализа молекулярной изменчивости племенных популяций КГМ

Источник варьирования	Степени свободы (df)	Сумма квадратов (SS)	Дисперсионные компоненты (VC)	Доля общей изменчивости (%)	p-значение
Межпопуляционный (между ГПЗ)	2	24,18	0,112	2,78	$< 0,001$
Внутрипопуляционный (между особями)	112	481,25	0,314	7,81	$< 0,001$
Внутрииндивидуальный (внутри особей)	115	414,00	3,60	89,41	$< 0,001$
Всего	229	919,43	4,03	100,00	–

Источник: Arlequin 3.5.2 / R-vegan.

В таблице 6 приведена оценка точности четырех цифровых алгоритмов при задаче отнесения овец к их исходным стадам на базе геномных матриц. Наименьшую точность показал алгоритм *PCA + k-means* (81,7 %). Использование байесовского метода в программе *STRUCTURE* позволило достичь точности 86,9 %. Наилучшие результаты продемонстрировали модели машинного обучения: алгоритм *Random Forest* показал точность 92,2 % (F1 = 0,918), а градиентный бустинг *XGBoost* достиг максимальной точности 94,8 % (F1 = 0,944), что делает его оптимальным ядром для биоинформатического модуля цифрового паспорта животного.

Таблица 6. Сравнительная точность цифровых алгоритмов машинного обучения в классификации особей

Алгоритм / Модель	Параметры настройки	Точность классификации (Accuracy, %)	Чувствительность (Recall, %)	Метрика F1-Score
STRUCTURE (Байесовский подход)	K = 3, MCMC = 100 000	86,90	85,70	0,862
PCA + k-means	3 главные компоненты	81,70	80,50	0,810
Random Forest Classifier	N_trees = 500, mtry = 3	92,20	91,40	0,918
Gradient Boosting (XGBoost)	Learning rate = 0,05	94,80	94,10	0,944

Источник: Python (Scikit-Learn) на геномных матрицах КГМ.

Рисунок 1 представляет собой классическую графическую визуализацию результатов байесовской кластеризации, выполненной в программе *STRUCTURE* 2.3.4. На графике отображена генетическая структура 115 особей кыргызского горного меринса. Каждая вертикальная полоса (столбец) соответствует одной исследованной особи. Горизонтальная ось разбита на три сегмента, разделенных черными пунктирными линиями, которые обозначают исходные племенные заводы: ГПЗ «Оргочор» (n = 42), ГПЗ им. М. Н. Луцихина (n = 38) и ГПЗ «Катта-Талдык» (n = 35).

Цвета полос (синий, оранжевый, зеленый) отражают долю генома особи, восходящую к одному из трех (K = 3) гипотетических предковых кластеров. Вертикальная ось (Q) показывает вероятностный вклад каждого кластера от 0 до 1 (100 %).

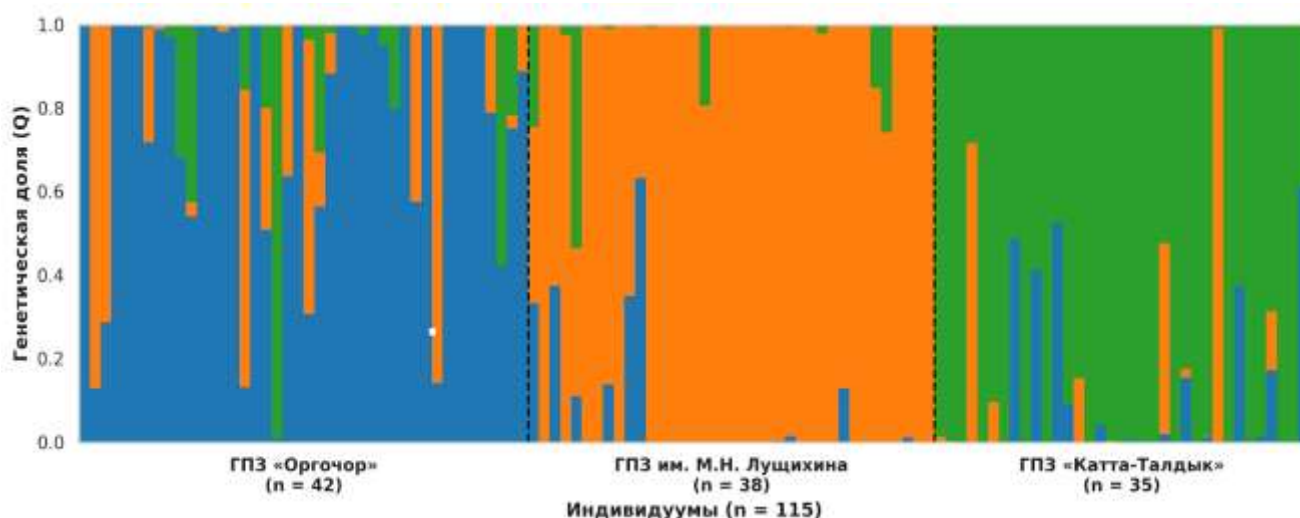


Рисунок 1. График генетической структуры популяций КГМ (K = 3)

График демонстрирует четкое разделение стад по генетическому составу, что коррелирует с географической изоляцией заводов.

ГПЗ «Оргочор» (синий кластер): животные этого стада показывают наибольшую однородность синего цвета ($Q > 0,80$), что свидетельствует о специфическом аллельном составе.

ГПЗ им. М. Н. Луцихина (оранжевый кластер): популяция также формирует отдельный кластер (преобладание оранжевого), однако наблюдается большая доля адмиксии (смешения) с синим кластером по сравнению со стадом «Катта-Талдык».

ГПЗ «Катта-Талдык» (зеленый кластер): стадо характеризуется наиболее изолированным генофондом с минимальной адмиксией.

Рисунок 1 визуализирует генетическую структуру племенных популяций кыргызского горного меринуса при допущении существования трех ($K = 3$) предковых кластеров. График подтверждает начальную стадию генетической дивергенции стад: каждое племенное стадо преимущественно состоит из генотипов одного кластера (синий, оранжевый или зеленый), что указывает на географическую разобщенность и специфику селекционного процесса в регионах. Умеренный уровень адмиксии в стаде ГПЗ им. М. Н. Луцихина ($Q < 0,20$) свидетельствует об историческом использовании генетического материала из других регионов. Данные графические результаты полностью соответствуют рассчитанным парным значениям F_{ST} (таблица 4).

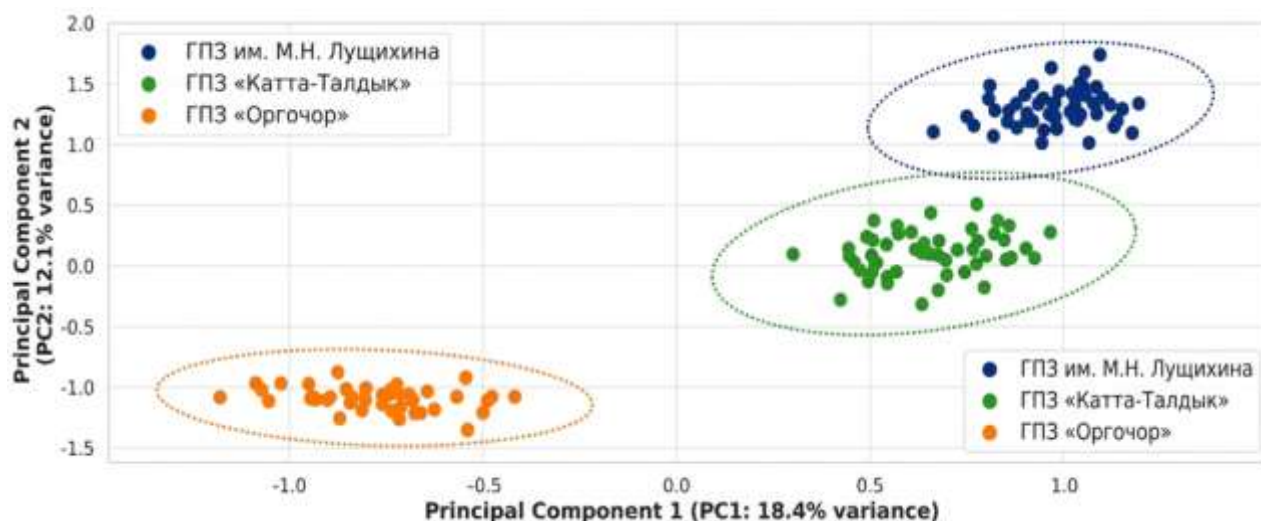


Рисунок 2. График анализа главных компонент (PCA) для генетических данных

Рисунок 2 представляет собой ординационное распределение 115 генотипов кыргызского горного меринуса в пространстве первых двух главных компонент (PC1 и PC2). Метод главных компонент (PCA) был использован для снижения размерности данных генотипирования ядерной ДНК и визуализации степени генетической близости или разобщенности между животными без предварительного допущения о количестве кластеров (в отличие от программы STRUCTURE).

Точки на графике представляют отдельные особи, раскрашенные и сгруппированные в соответствии с их принадлежностью к государственным племенным заводам (ГПЗ):

- *синий цвет (верхний кластер)*: ГПЗ им. М. Н. Луцихина занимает наиболее высокое положение вдоль оси второй главной компоненты (PC2);

- *зеленый цвет (средний кластер)*: ГПЗ «Катта-Талдык» локализован в центральной части графика;

- *оранжевый цвет (нижний кластер)*: ГПЗ «Оргочор» расположен в нижней части графика с наибольшим смещением по оси первой главной компоненты (PC1).

Первая главная компонента (PC1) описывает 18,4 % общей генетической дисперсии выборки, а вторая компонента (PC2) – 12,1 % дисперсии. Отрисованные вокруг популяций пунктирные эллипсы фиксируют 95 %-е доверительные области пространственного размещения генотипов каждого стада.

Четкая вертикальная и горизонтальная дифференциация доверительных эллипсов без их взаимного перекрытия наглядно подтверждает статистически достоверную генетическую разобщенность изучаемых племенных стад, что полностью согласуется с рассчитанными значениями генетических расстояний Нея (D_A) и индексов F_{ST} (таблица 4).

Рисунок 2 представляет распределение 115 генотипов овец кыргызского горного мериноса из трех государственных племенных заводов – ГПЗ «Оргочор», ГПЗ им. М. Н. Луцких и ГПЗ «Катта-Талдык» – в пространстве первых двух главных компонент (PC1 и PC2). Положение отдельных точек отражает генетическое сходство и различия между особями, а группирование образцов соответствует их принадлежности к исследуемым племенным популяциям. Применение современных цифровых биоинформатических платформ, алгоритмов популяционной генетики и методов машинного обучения позволило впервые провести комплексную оценку генетической дифференциации племенных стад кыргызского горного мериноса на уровне ядерного генома.

Генетический полиморфизм и состояние внутривидового разнообразия. Полученные данные о высоком уровне генетического разнообразия в исследуемых племенных заводах ($H_o = 0,705$, $H_e = 0,766$, среднее число аллелей $N_a = 10,83$) свидетельствуют о сохранении богатого аллелофонда у кыргызского горного мериноса. Значение показателя полиморфного информационного содержания ($PI = 0,735$, таблица 2) подтверждает высокое качество и информативность использованной панели 12 микросателлитных маркеров ядерной ДНК для популяционных исследований овец и мелкого рогатого скота.

Наиболее высокий уровень аллельного богатства ($N_a = 11,25$) и наблюдаемой гетерозиготности ($H_o = 0,731$) в ГПЗ «Оргочор» (таблица 3) объясняется историческими особенностями селекционной работы в Иссык-Кульском регионе. Данное стадо интенсивно освежалось кровью австралийских мериносов, что привело к сильному обогащению генофонда редкими и специфическими аллелями (54,1 %).

Во всех трех исследованных стадах зафиксирован умеренный дефицит гетерозигот (индекс F_{IS} варьирует от +0,077 до +0,097, в среднем по породе +0,084). Данная тенденция обусловлена вынужденным ротационным инбридингом в условиях ограниченного племенного поголовья и локализованного использования ограниченного числа баранов-производителей. Выявленный уровень локальной гомозиготизации подчеркивает необходимость внедрения цифровых систем управления подбором пар на основе ДНК-паспортизации.

Дифференциация племенных стад и структура породы. Результаты анализа молекулярной изменчивости (AMOVA, таблица 5) показывают, что основные генетические различия сосредоточены внутри особей (89,41 %), тогда как на межпопуляционную составляющую (между ГПЗ) приходится 2,78 % от общего разнообразия ($p < 0,001$).

Значения индекса фиксации F_{ST} (0,0241–0,0312, таблица 4) указывают на слабую, но статистически достоверную межпопуляционную дифференциацию ($p < 0,01$). Графические методы ординации и кластеризации – байесовский анализ в программе STRUCTURE ($K = 3$, рисунок 1) и анализ главных компонент PCA (рисунок 2) – наглядно подтвердили формирование трех генетически обособленных внутривидовых типов:

1. Таласский внутривидовый тип (ГПЗ им. М. Н. Луцких) занимает верхний кластер на графике PCA (рисунок 2). Демонстрирует относительную генетическую близость к стаду «Катта-Талдык» ($D_A = 0,0582$, $F_{ST} = 0,0241$), что объясняется похожими эколого-климатическими условиями разведения и общими историческими схемами селекции.

2. Ошский внутривидовой тип (ГПЗ «Катта-Талдык») занимает центральное положение на графике PCA и характеризуется наиболее изолированным генофондом с минимальной долей внешней адмиксии (Q-пропорции на рисунке 1).

3. Иссык-Кульский внутривидовой тип (ГПЗ «Оргочор») наиболее сильно обособлен по оси первой главной компоненты (PC1 = 18,4 % дисперсии, нижний кластер на рисунке 2) и по расстояниям Нея ($D_A = 0,0715$), что отражает специфический селекционный вектор на тонкорунность и настриг шерсти.

Эффективность цифровых технологий и машинного обучения. Сравнительный анализ биоинформатических моделей (таблица 6) продемонстрировал превосходство современных алгоритмов машинного обучения над классическими популяционно-генетическими методами при решении задачи атрибуции (установления происхождения) племенных животных:

- метод PCA + k-means показал точность классификации 81,7 %, снижаемую в зонах близкого расположения отдельных генотипов;
- Байесовский подход (STRUCTURE) показал точность 86,9 %, эффективно выявляя предковые доли генома;
- алгоритмы Random Forest (92,2 %) и градиентного бустинга XGBoost (94,8 %, $F1 = 0,944$) позволили достичь максимальной точности.

Следует отметить, что применяемые в исследовании методы относятся к различным классам аналитических подходов и поэтому их показатели Ассигасу не могут рассматриваться как полностью эквивалентные показатели эффективности. Метод STRUCTURE представляет собой байесовский подход к оценке генетической структуры и предковых долей генома, тогда как PCA + k-means относится к методам снижения размерности и безнадзорной кластеризации. В отличие от них Random Forest и XGBoost являются алгоритмами машинного обучения с учителем, непосредственно ориентированными на классификацию объектов по заранее определенным группам. Поэтому STRUCTURE и PCA в настоящем исследовании использовались прежде всего как референсные методы выявления и визуализации популяционной структуры, а прямое сравнение предсказательной точности проводилось между моделями Random Forest и XGBoost. Приведенные для STRUCTURE и PCA значения Ассигасу имеют исключительно иллюстративный характер и не рассматриваются как показатель их конкурентного преимущества или недостатка по отношению к алгоритмам машинного обучения. Высокая точность XGBoost объясняется способностью нейросетевых и бустинговых моделей учитывать нелинейные паттерны сцепления и комплексы редких аллелей ядерной ДНК.

Таким образом, внедрение цифровых технологий генотипирования ядерной ДНК и алгоритмов машинного обучения позволило зафиксировать начальный этап микроэволюционной дивергенции кыргызского горного мериноса. Образование трех генетически дифференцированных кластеров является результатом длительного отбора в контрастных экологических зонах Кыргызской Республики (Таласская, Ошская и Иссык-Кульская области). Созданные на базе XGBoost математические модели служат надежным фундаментом для создания единой системы цифровой ДНК-паспортизации и управления селекционным процессом мериносового овцеводства страны.

Заключение. В результате проведенного комплексного исследования с применением цифровых технологий, биоинформатических конвейеров и методов анализа ядерной ДНК впервые дана детальная генетико-популяционная характеристика и вычислена степень дивергенции племенных стад овец породы кыргызский горный меринос.

1. Высокий потенциал генетического разнообразия. Генотипирование по 12 микросателлитным локусам ядерной ДНК выявило высокий уровень полиморфизма ($PI_C = 0,735$) и аллельного богатства ($N_a = 10,83$) при средней наблюдаемой гетерозиготности $H_o = 0,705$. Наиболее высокое разнообразие зафиксировано в ГПЗ «Оргочор» ($N_a = 11,25$; $H_o = 0,731$), что отражает специфику использования мирового генетического фонда мериносов в Иссык-Кульском регионе.

2. Статистически достоверная внутрипородная дифференциация. Анализ молекулярной изменчивости (AMOVA) и индексы Райта ($F_{ST} = 0,0241-0,0312$, $p < 0,01$) подтвердили наличие слабо выраженной, но статистически значимой межпопуляционной дифференциации (2,78 % от общего разнообразия). Использование методов ординации (PCA) и байесовской кластеризации (STRUCTURE, $K = 3$) позволило графически и математически зафиксировать формирование трех внутрипородных типов – таласского (ГПЗ им. М.Н. Луцкихина), ошского (ГПЗ «Катта-Талдык») и иссык-кульского (ГПЗ «Оргочор»).

3. Эффективность алгоритмов машинного обучения. Среди моделей машинного обучения с учителем наивысшую точность классификации продемонстрировал алгоритм градиентного бустинга XGBoost (94,8 %, $F1 = 0,944$), тогда как Random Forest обеспечил точность 92,2 % ($F1 = 0,918$). Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности XGBoost для автоматической атрибуции животных к исходным племенным группам. Показатели STRUCTURE и PCA + k-means рассматриваются отдельно как результаты референсного популяционно-генетического анализа и безнадзорной кластеризации. Наивысшую точность классификации продемонстрировала модель на основе градиентного бустинга XGBoost (94,8 %, $F1 = 0,944$), опередившая методы STRUCTURE (86,9 %) и PCA + k-means (81,7 %).

Список источников

1. Бондаренко П. В., Кузнецов А. В. Цифровая трансформация животноводства: современные технологии и перспективы развития // Аграрная наука. 2023. № 10. С. 42–48.
2. FAO. Strategy on Digitalization of Agriculture and Food Systems. Rome : FAO, 2022. 96 p.
3. FAO. Molecular Genetic Characterization of Animal Genetic Resources. FAO Animal Production and Health Guidelines No 9. Rome : FAO., 2011. 84 p.
4. Григорьев С. В., Смирнов И. А. Информационные технологии в генетике и селекции сельскохозяйственных животных // Вестник аграрной науки. 2022. № 5. С. 63–71.
5. Jombar T. Adeget: a R package for the multivariate analysis of genetic markers // Bioinformatics. 2008. Vol. 24, no 11. P. 1403–1405. DOI: 10.1093/BIOINFORMATICS/BTN129.
6. Иванов В. И., Петров А. С. Биоинформатика и анализ геномных данных в животноводстве // Информационные технологии. 2021. Т. 27, № 8. С. 615–624.
7. Genome-wide analysis of the world's sheep breeds reveals high levels of historic mixture and strong recent selection / J. W. Kijas, J. A. Lenstra, B. Hayes [et al.] // PLoS Biology. 2012. Vol. 10, no 2. P. 1001258.
8. Liu K., Muse S. V. PowerMarker: An integrated analysis environment for genetic marker analysis // Bioinformatics. 2005. Vol. 21, no 9. P. 2128–2129.
9. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update // Bioinformatics. 2012. Vol. 28, no 19. P. 2537–2539.
10. Excoffier L., Lischer H. Arlequin Suite ver. 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows // Molecular Ecology Resources. 2010. Vol. 10. С. 564–567.
11. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2016. P. 785–794.
12. Шарипов К. С., Абдыкадыров А. Ж. Цифровые технологии в селекции сельскохозяйственных животных Кыргызской Республики // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина. 2024. № 3. С. 98–106.
13. High-density genotyping reveals signatures of selection related to acclimation and economically important traits in 15 local sheep breeds from Russia / A. A. Yurchenko, T. E. Deniskova, N. S. Yudin [et al.] // BMC Genomics. 2019. Vol. 20. P. 294. DOI: 10.1186/s12864-019-5537-0.

14. Young W., Campbell M. Artificial intelligence and machine learning in precision livestock farming // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 205. P. 107612.

References

1. Bondarenko PV, Kuznetsov AV. Digital transformation of livestock farming: modern technologies and development prospects. Agrarnaya nauka. 2023;(10):42–48. (In Russ.).
2. FAO. Strategy on Digitalization of Agriculture and Food Systems. Rome: FAO; 2022. 96 p.
3. FAO. Molecular Genetic Characterization of Animal Genetic Resources. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 9. Rome: FAO; 2011. 84 p.
4. Grigoriev SV, Smirnov IA. Information technologies in genetics and breeding of farm animals. Vestnik agrarnoy nauki. 2022;(5):63–71. (In Russ.).
5. Jombar T. Adegenet: a R package for the multivariate analysis of genetic markers. Bioinformatics. 2008;24(11):1403–1405. DOI: 10.1093/BIOINFORMATICS/BTN129.
6. Ivanov VI, Petrov AS. Bioinformatics and genomic data analysis in animal husbandry. Informatsionnyye tekhnologii. 2021;27(8):615–624. (In Russ.).
7. Kijas JW, Lenstra JA, Hayes B, et al. Genome-wide analysis of the world's sheep breeds reveals high levels of historic mixture and strong recent selection. PLoS Biology. 2012;10(2):1001258.
8. Liu K, Muse SV. PowerMarker: An integrated analysis environment for genetic marker analysis. Bioinformatics. 2005;21(9):2128–2129.
9. Peakall R, Smouse PE. GenAlEx 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. Bioinformatics. 2012;28(19):2537–2539.
10. Excoffier L, Lischer H. Arlequin Suite ver. 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. Molecular Ecology Resources. 2010;10:564–567.
11. Chen T, Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. In: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM Publishing; 2016. P. 785–794.
12. Sharipov KS, Abdykadyrov AZh. Digital technologies in livestock breeding of the Kyrgyz Republic. Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University. 2024;(3):98–106. (In Russ.).
13. Yurchenko AA, Deniskova TE, Yudin NS, et al. High-density genotyping reveals signatures of selection related to acclimation and economically important traits in 15 local sheep breeds from Russia. BMC Genomics. 2019;20:294. DOI: 10.1186/s12864-019-5537-0.
14. Young W, Campbell M. Artificial intelligence and machine learning in precision livestock farming. Computers and Electronics in Agriculture. 2023;205:107612.

Информация об авторах:

Чортонбаев Тыргоот Джумадиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и химии, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина, ул. Медерова, д. 68, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720005
e-mail: tyrgoot@mail.ru

Белек уулу Эсенбек, заведующий отделом науки, редакции и наукометрического анализа, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина, ул. Медерова, д. 68, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720005
e-mail: esenbekbelekuulu@gmail.com

Information about the authors

Chortonbaev Tyrgoot Dzhumadievich, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of Biotechnology and Chemistry, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, 68 Mederov Street, Bishkek 720005, Kyrgyz Republic

e-mail: tyrgoot@mail.ru

Belek uulu Esenbek, head of the department of Science, Editorial and Scientometric Analysis, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, 68 Mederov Street, Bishkek 720005, Kyrgyz Republic

e-mail: esenbekbelekuulu@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

29.07.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

07.09.2026

принята к публикации / accepted for publication

14.09.2026

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научная статья

УДК 631.372:629.114.2.032

DOI 10.66783/2782-3172.2026.31.30.008

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СПЕЦИАЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА НА ДАВЛЕНИЕ НА ПОЧВУ И МАНЕВРЕННОСТЬ

Василий Петрович Горобей¹, Сергей Сергеевич Старчиков¹, Вадим Юрьевич Москалевич^{1,2}

¹Крымский научно-исследовательский центр виноградарства и виноделия «Магарач» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», Ялта, Россия

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» – Институт «Агротехнологическая академия», Аграрное, Республика Крым, Россия

Автор, ответственный за переписку: Василий Петрович Горобей, trial237@rambler.ru

Аннотация

Приведены результаты исследований влияния опорной поверхности гусеничного трактора, оборудованного механизмом изменения продольной базы, на показатели давления на почву и его маневренность. Экспериментальные исследования проводились на гусеничных траках в почвенном канале (влажность почвы в пределах 13–17 % определялась весовым методом, твердость почвы в пределах 24–27 Н/см² определялась твердомером Ревякина на глубину 0–30 см по каждому варианту опытов). Для исследований взяты сдвоенные стальные гусеницы виноградникового трактора Т-70В (ширина 300 мм, длина 420 мм, масса 13,64 кг), сдвоенные стальные гусеницы трактора ДТ 75 (ширина 420 мм, длина 420 мм, масса 21,47 кг) и фрагмент РАГ – резино-армированной гусеницы (ширина 300 мм, длина 900 мм, с фиксированной длиной опорной части 420 мм, масса 19,64 кг) от заданного веса (максимальный 1 т) водоналивного катка длиной 1200 мм, диаметром 750 мм. Давление на почву определяли при помощи тензостанции ZET 017-Т, датчика мембранного модели ДМТ-2Т, программного обеспечения ZETlab и обработки числовых значений в программе Microsoft Excel. Расчетные параметры ширины гусениц 200, 300, 360 и 400 мм, опорной длины – 1030 и 1455 мм. Определено, что при массе трактора $m = 5070$ кг давление на почву металлических гусениц шириной $b = 400$ мм и РАГ $b = 300$ мм не превышает допустимых значений и составляет соответственно $q = 4,41$ Н/см² и $q = 4,06$ Н/см². Проведен кинематический и силовой анализ маневренности гусеничного трактора с конструктивными особенностями ходовой системы. Результаты исследований могут быть использованы на стадии проектирования ходовой системы виноградникового гусеничного трактора тягового класса 2.

Ключевые слова: трактор, ходовая система, опорная поверхность, тип гусениц, продольная база, тензостанция, давление, почва, сила сопротивления, поворотливость

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет бюджетных средств

Для цитирования: Горобей В. П., Старчиков С. С., Москалевич В. Ю. К определению влияния опорной поверхности специального гусеничного трактора на деформационные показатели почвы // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 76–87. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.31.30.008.

DETERMINING THE EFFECT OF THE GROUND-CONTACT SURFACE OF A SPECIAL CRAWLER TRACTOR ON SOIL PRESSURE AND MANEUVERABILITY

Vasily P. Gorobey¹, Sergey S. Starchikov¹, Vadim Yu. Moskalevich^{1,2}

¹Crimean Research Center for Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the National Research Center "Kurchatov Institute", Yalta, Russia

²Vernadsky Crimean Federal University – Institute of Agrotechnological Academy, Agrarnoye, the Republic of Crimea, Russia

Corresponding author: Vasily P. Gorobey, trial237@rambler.ru

Abstract

The results of studies of the influence of the ground-contact surface of a crawler tractor equipped with the mechanism for changing the longitudinal base on the pressure indicators, on the soil and its maneuverability are presented. The experiments were conducted on crawler tracks in a soil channels (soil moisture within the range of 13–17% was determined gravimetrically; soil hardness within the range of 24–27 N/cm² was determined with a Revyakin hardness tester at a depth of 0–30 cm for each experimental variant). The following tracks were used in the research: twin steel tracks of the T-70V vineyard tractor (300 mm wide, 420 mm long, 13.64 kg in weight), twin steel tracks of the DT 75 tractor (420 mm wide, 420 mm long, 21.47 kg in weight), and the fragment of the RAG rubber-reinforced track (300 mm wide, 900 mm long, with a fixed support length of 420 mm, 19.64 kg in weight) from a given weight (maximum 1 t) of a water-filled roller 1200 mm long and 750 mm in diameter. The pressure on soil was determined using a ZET 017-T strain gauge, a DMT-2T membrane model sensor, ZETlab software and numerical value processing in Microsoft Excel. The calculated parameters of the track width are 200, 300, 360 and 400 mm, the support length is 1030 and 1455 mm. It was found out that with the tractor mass $m = 5070$ kg, the pressure of metal tracks with a width of $b = 400$ mm and RAG $b = 300$ mm on the soil does not exceed the permissible values and is $q = 4.41$ N/cm² and $q = 4.06$ N/cm², respectively. The kinematic and power analysis of the maneuverability of a tracked tractor with the design features of the undercarriage was carried out. The research results can be used in the design phase of the undercarriage system for a class 2 vineyard crawler tractor.

Keywords: tractor, undercarriage, ground-contact surface, track type, longitudinal base, strain gauge station, pressure, soil, drag force, maneuverability

Funding: the study on which this article is based was funded by public funds

For citation: Gorobey VP, Starchikov SS, Moskalevich VYu. Determining the effect of the ground-contact surface of a special crawler tractor on soil pressure and maneuverability. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):76–87. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.31.30.008. (In Russ.).

Введение. Известно, что одним из направлений повышения урожайности сельскохозяйственных культур и снижения при этом энергетических затрат является поддержание и регулирование свойств почвы в оптимальном состоянии [1, 2]. Уплотнение почвы происходит под воздействием естественных факторов – дождя, особенно при отсутствии растительного покрова, сил гравитации. Однако ученые и специалисты основной причиной уплотнения считают механическое воздействие ходовой системы тракторов, комбайнов, почвообрабатывающих машин, средств для внесения в почву органических и минеральных удобрений, извести и др. Отрицательные последствия уплотнения почвы разнообразны: ухудшаются водно-воздушный режим почвы и условия минерального питания растений, снижается урожайность, усиливается эрозия почвы,

возрастают затраты материальных ресурсов на обработку почвы [3]. К основным физическим свойствам почвы относят плотность, структурное состояние, твердость, пористость (общая, межагрегатная и отдельных агрегатов) [4]. Исследованиями, посвященными установлению закономерностей деформации почвы, из-за сложности материала, получить исчерпывающие зависимости пока не удастся [5]. В решении проблемы устранения и предупреждения избыточного уплотнения почв на первое место должен быть выдвинут комплекс инженерно-технических, организационных и агротехнических мероприятий [3]. Отмечается, что применение комплексов техники с допустимым воздействием на почву позволит снизить недобор урожая, в частности зерновых, в среднем на 2–3 ц/га, затраты топлива на проведение полевых работ на 15–20 %, а также повысит производительность МТА на 20–25 % [1]. На уплотненных тракторах деланках происходит снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Достоверное снижение урожайности овса получили при трех- и пятикратном уплотнении колесными тракторами и при пятикратном уплотнении гусеничным трактором [6]. Развитие конструкций ходовых систем гусеничных тракторов направлено на снижение уплотняющего воздействия движителя на почву, повышение их тягово-сцепных качеств, обеспечение требуемой долговечности узлов и механизмов и улучшение условий труда тракториста [7]. Резиноармированные гусеницы (РАГ) начинают находить все более широкое применение в современных тракторах с меньшим на 25–30 % уплотняющим воздействием на почву при одинаковой ширине с металлическими гусеницами [8]. Создание мобильных энергосредств, способных уменьшить вредное уплотняющее воздействие на почву, позволяет повысить урожайность возделываемых культур и сохранить верхний плодородный слой почвы от эрозии [9].

Известно также, что при передних ведущих колесах, расположении центра тяжести на расстоянии около 400 мм от передней оси вследствие обратного реактивного момента нагрузка на задние поддерживающие колеса увеличивается, на передние ведущие – уменьшается, давление обоих колес на гусеницу несколько выравнивается. Описанная комбинация позволяет не опасаться опрокидывания трактора и расположить крюк значительно выше сравнительно с обычными гусеничными тракторами [10]. Обосновано, что при движении на подъём по косогору для трактора с передним приводом смещение центра давления меньше, чем для трактора с задним приводом, соответственно, трактор с передним приводом способен преодолевать больший предельный угол подъёма как с металлическими, так и с резиноармированными гусеницами [11].

Для снижения давления движителя на почву у болотоходных тракторов предусмотрены движители с широкими гусеницами, кроме того, продольную базу у этих тракторов обычно увеличивают, опуская направляющее колесо. При опущенных направляющих колесах ухудшается маневренность, поэтому на тракторах устанавливают механизм, позволяющий поднимать и опускать направляющие колеса [12].

Определение влияния опорной поверхности специального (виноградникового) переднеприводного гусеничного трактора, оборудованного механизмом изменения продольной базы, на деформационные характеристики почвы и его маневренность представляет интерес.

Материалы и методы. Для обоснования ходовой системы при разработке предпосылок создания виноградникового гусеничного трактора класса 2, отвечающего современным требованиям (прототип – универсально-пропашной трактор Т-70, его свекловичная и виноградниковая модификации) [13], экспериментальные исследования проводились на гусеничных траках в почвенном канале (влажность почвы в пределах 13–17 % определялась весовым методом, твердость почвы в пределах 24–27 Н/см² определялась твердомером Ревякина на глубину 0–30 см по каждому варианту опытов). Для проведения исследований по определению зависимости деформационных характеристик почвы были взяты сдвоенные стальные гусеницы виноградникового трактора Т-70В (ширина 300 мм, длина 420 мм, масса 13,64 кг), сдвоенные стальные гусеницы трактора ДТ 75 (ширина 420 мм,

длина 420 мм, масса 21,47 кг) и фрагмент резиновой гусеницы РАГ (ширина 300 мм, длина 900 мм, с фиксированной длиной опорной части 420 мм, масса 19,64 кг) от заданного веса (максимальный 1 т) водоналивного катка длиной 1200 мм, диаметром 750 мм. Общие виды металлических гусеничных траков и фрагмента РАГ приведены на рисунке 1.

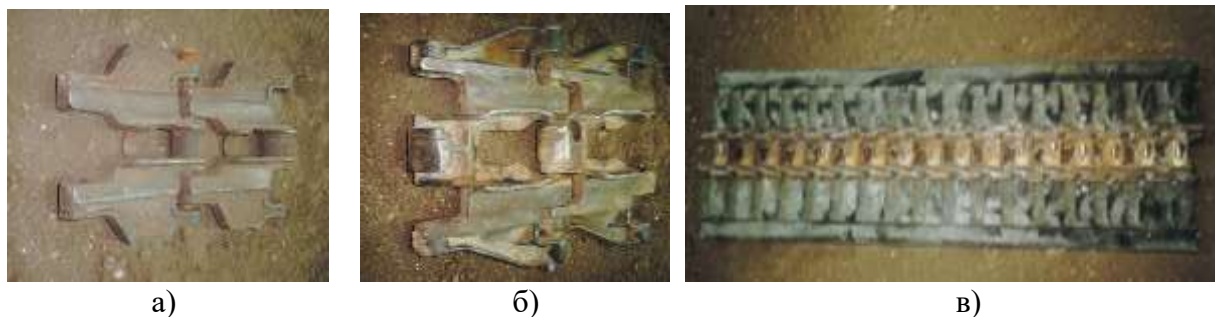


Рисунок 1. Общие виды сдвоенных металлических траков:

а) гусеницы шириной 300 мм; б) гусеницы шириной 420 мм;
в) фрагмента РАГ шириной 300 мм

При исследованиях усилие давления на почву определяли при помощи тензостанции ZET 017-T с аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) и выводом данных на персональный компьютер (ПК). Применялся тензодатчик мембранный модели ДМТ-2Т (2024 г. выпуска) класс точности – С (по ГОСТ 8.631-2013 (OIMLR 60:2000), максимальная нагрузка (E_{MAX}) – 2 т, предел допустимой нагрузки (E_{LIM}), % от E_{MAX} – 150 %, длина кабеля 12 м. Управление работой тензостанции и регистрация данных осуществлялись программным обеспечением ZETLAB, обработка числовых значений – в программе Microsoft Excel. Общие виды узлов установки для исследований деформационных характеристик почвы в почвенном канале Института «Агротехнологическая академия» представлены на рисунке 2.

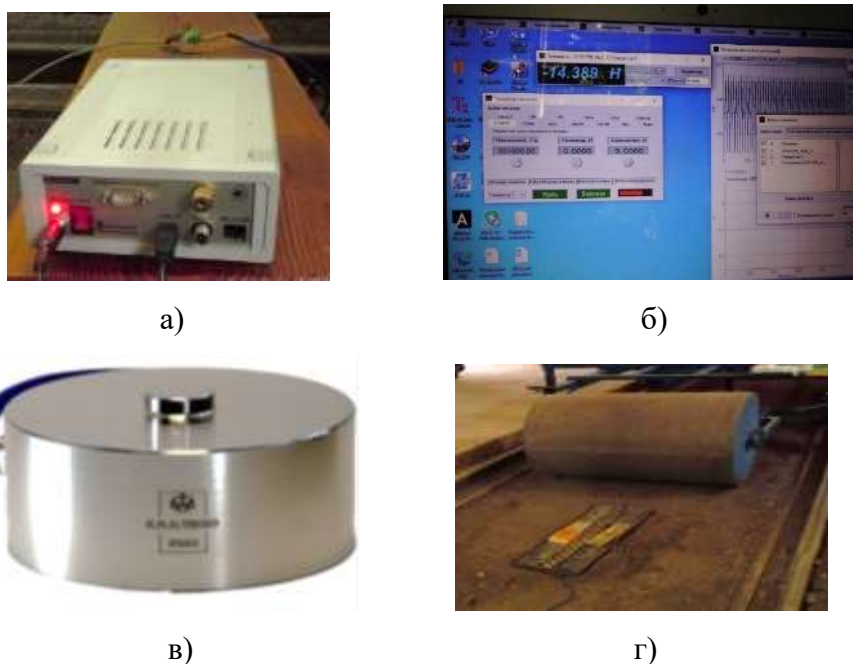


Рисунок 2. Общие виды узлов установки для исследований деформационных характеристик почвы:

а) тензостанция; б) скриншот окна ноутбука с программным обеспечением ZETLab; в) датчик;
г) резиновоармированная гусеница и каток

Показатели, определяемые динамометрированием, являются исходными для решения основных задач машиностроения и использования машин, во многих случаях экспериментальные работы являются почти единственным источником получения данных, необходимых для расчета сельскохозяйственных машин и тракторных агрегатов [14].

Результаты и обсуждение. В результате исследований в почвенном канале давления на почву фрагментов опорных элементов гусеничных тракторов Т-70В, ДТ-75 и РАГ (рисунок 1) построена диаграмма (рисунок 3) зависимости влияния типа гусениц (1 – металлических шириной $b = 400$ мм; 2 – металлических шириной $b = 300$ мм; 3 – РАГ шириной $b = 300$ мм) на давление на почву.

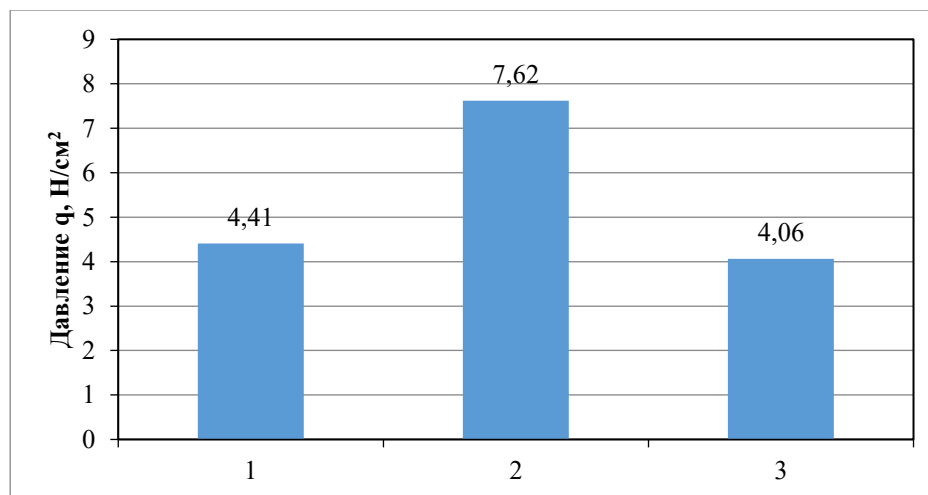


Рисунок 3. Диаграмма показателей давления трактора на почву через опорную поверхность гусениц:

1 – металлических шириной $b = 400$ мм; 2 – металлических шириной $b = 300$ мм;
3 – РАГ шириной $b = 300$ мм

Анализ данных диаграммы, приведённой на рисунке 3, показывает, что при массе трактора $m = 5070$ кг давление на почву металлических гусениц шириной $b = 300$ мм превышает допустимые значения ($q = 4\text{--}5$ Н/см²) и составляет $q = 7,62$ Н/см². Давление на почву металлических гусениц шириной $b = 400$ мм и резиноармированных гусениц (РАГ) $b = 300$ мм не превышает допустимых значений и составляет соответственно $q = 4,41$ Н/см² и $q = 4,06$ Н/см². Наименьшее давление на почву оказывают резиноармированные гусеницы ($q = 4,06$ Н/см²), которое меньше давления металлических гусениц шириной $b = 400$ мм и $b = 300$ мм соответственно в 1,1 и 1,9 раза.

Для кинематического и силового анализа процесса поворота специального гусеничного трактора рассмотрим схему, приведённую на рисунке 4, на которой показаны основные параметры ходовой части: ширина колеи B , ширина гусениц b , длина опорной поверхности гусениц L . Поворот гусеничного трактора с угловой скоростью ω обеспечивается различными силами тяги P_1 и P_2 , силами сопротивления поступательному движению P_{f1} и P_{f2} на каждом гусеничном борту. Гусеница, движущаяся с большей скоростью (забегающая гусеница), поворачивает трактор в сторону отстающей гусеницы. При этом трактор совершает одновременно два движения: поступательное и вращательное вокруг центра поворота O (рисунок 4), положение которого зависит от типа механизма поворота, распределения сил по длине гусениц и сцепления гусениц с почвой.

При повороте гусеницы сминают и срезают грунт в направлении, перпендикулярном к продольной оси трактора (рисунок 4), вследствие чего возникают силы сопротивления повороту R_1 , R_2 , действующие в направлении, перпендикулярном к направлению движения,

на расстоянии от центров поворота гусениц O_1 и O_2 , зависящем от длины опорной поверхности гусениц L и коэффициента k_L , учитывающего давление под опорной поверхностью гусениц.

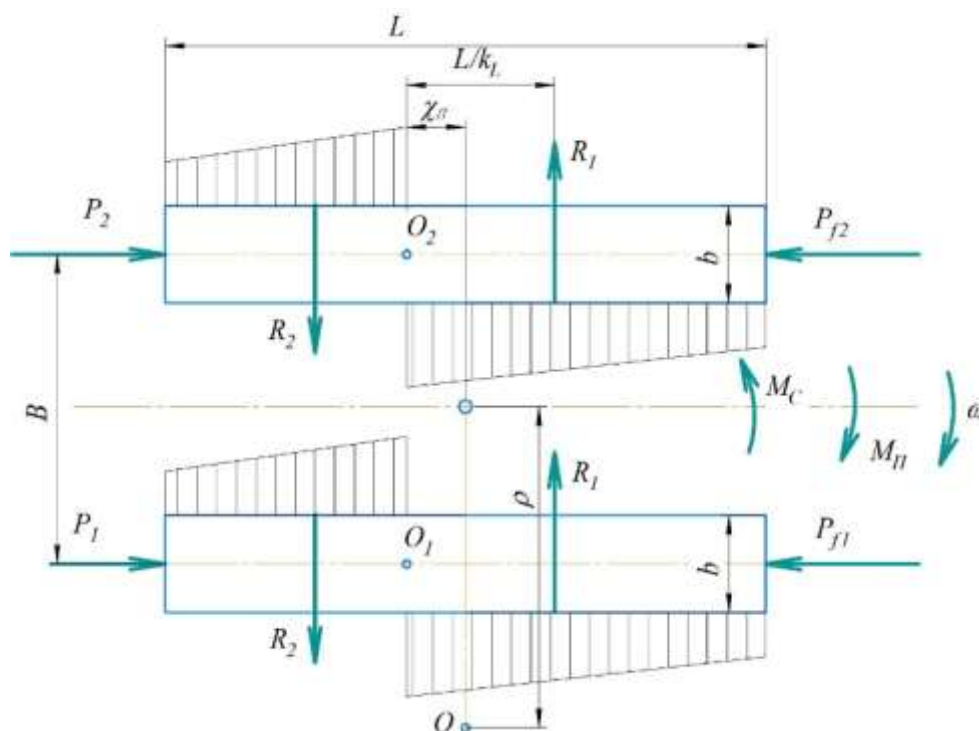


Рисунок 4. Схема поворота гусеничного трактора

Радиус поворота ρ – расстояние от центра поворота до продольной плоскости симметрии трактора – можно определить по выражению

$$\rho = 0,5B \cdot \frac{v_2(1-\delta_2) + v_1(1-\delta_1)}{v_2(1-\delta_2) - v_1(1-\delta_1)}, \quad (1)$$

где B – ширина колеи трактора;

v_2 и v_1 – теоретические скорости движения соответственно забегающей и отстающей гусениц, создаваемые механизмом поворота;

δ_2 и δ_1 – буксование соответственно забегающей и отстающей гусениц.

Внешний радиус поворота трактора

$$\rho_{\pi} \approx 0,5\sqrt{(2\rho + B + b)^2 + (L + 2\chi_{\pi})^2}, \quad (2)$$

где b – ширина гусениц;

L – длина опорной поверхности гусениц (рисунок 5).

На рисунке 5 (а – вид сбоку, б – вид сверху) приведена схема ходовой части трактора с параметрами для расчетов, где 1 – приводное колесо, 2 – передняя каретка, 3 – задняя каретка, 4 – механизм «подъема – опускания» направляющего колеса, 6 – направляющее колесо, L_1 – длина опорной поверхности гусеничного обвода при поднятом направляющем колесе, L_2 – длина опорной поверхности гусеничного обвода при опущенном направляющем колесе, и шириной гусеницы, мм: $b_1 - 200$; $b_2 - 300$; $b_3 - 360$; $b_4 - 400$.

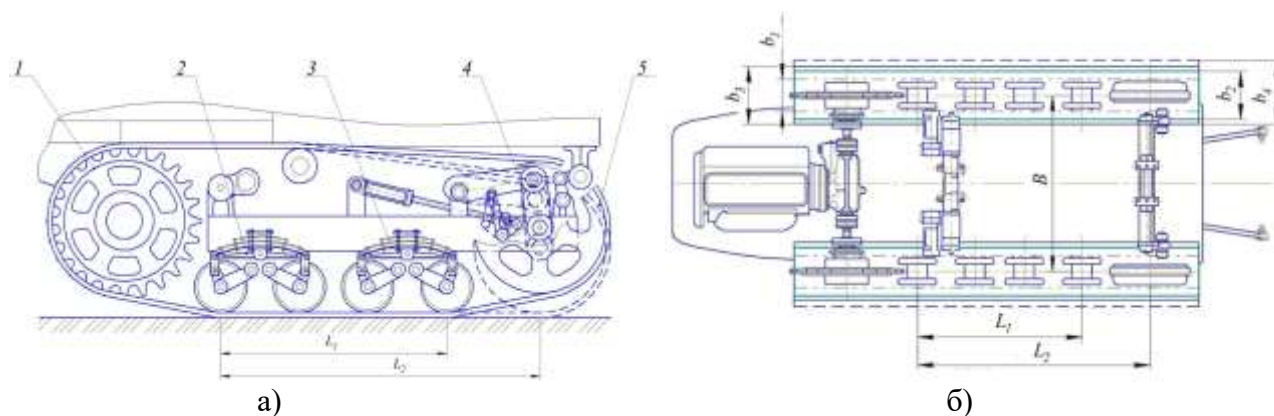


Рисунок 5. Схема ходовой части гусеничного трактора:
а) вид сбоку; б) вид сверху

Длину поворота S_{Π} и ширину поворотной полосы E_{Π} определяют по формулам [15], приняв коэффициент поворачиваемости

$$K_{пов} = \frac{J_T v^2}{M_{ПТ}}, \quad (3)$$

где J_T – момент инерции трактора относительно вертикальной оси, проходящей через точку, сохраняющую при повороте скорость прямолинейного движения v , при расположении этой точки на оси продольной симметрии трактора

$$J_T = \frac{G}{12g} [L^2 + (B + b)^2]; \quad (4)$$

$M_{ПТ}$ – избыточный поворачивающий момент:

$$M_{ПТ} = M_{\Pi} - M_{рез}, \quad (5)$$

где M_{Π} – поворачивающий момент;

$M_{рез}$ – результирующий момент сопротивления повороту.

Для определения поворачивающего момента применили выражение [15]

$$M_{\Pi} = 0,5B[(P_2 - P_1) + (f_{\Pi}G_1 - f_{\Pi}G_2)], \quad (6)$$

где f_{Π} – коэффициент сопротивления самопередвижению трактора при повороте

$$f_{\Pi} \approx f \left(1 + \frac{10}{10 + \rho_B} \right). \quad (7)$$

Силу сопротивления поступательному движению каждой гусеницы можно определить произведением коэффициента сопротивления движению f и приходящейся на неё нагрузки G' [16]:

$$P_{\Gamma} = f G'. \quad (8)$$

Величина коэффициента сопротивления движению f зависит от качества грунта, конструкции гусениц и подвески. Его значения находятся в пределах 0,06–0,15 [15].

При повороте трактора центр поворота смещается относительно середины опорных поверхностей гусениц на величину χ_{Π} в результате действия смещающих моментов от продольных и поперечных сил. При действии только поперечных сил центр поворота сместится назад относительно оси, проходящей через середины опорных поверхностей гусениц, на величину

$$\chi_Y = \frac{P_Y - P_{\Pi Y}}{\mu_{\Pi \max} G} \cdot \frac{L}{2}, \quad (9)$$

где $\mu_{\Pi \max}$ – коэффициент сопротивления повороту, $\mu_{\Pi \max} = 0,5$ [15].

Смещение центра поворота трактора в результате смещения центра давления и действия поперечных сил определяется по выражению

$$\chi_0 = -\frac{1}{3x_0} + \sqrt{\frac{1}{9x_0^2} + 1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\chi_{0Y}}{x_0}}, \quad (10)$$

где $x_0 = \frac{2x_D}{L}$; $\chi_{0Y} = \frac{2\chi_Y}{L}$.

Силы сопротивления повороту зависят от веса трактора G и конструкции ходовой части, что позволяет выразить их через коэффициент трения при боковом сдвиге гусениц по почве, называемый коэффициентом сопротивления повороту μ_{Π} . Момент сопротивления повороту трактора определяется по выражению

$$M_C = \frac{\mu_{\Pi} GL}{k_L} k_C, \quad (11)$$

где μ_{Π} – коэффициент сопротивления повороту, зависящий от радиуса поворота [15]

$$\mu_{\Pi} = \frac{\mu_{\Pi \max}}{a + (1-a) \cdot (\rho / B + 0,5)}, \quad (12)$$

где a – коэффициент, принимающий значения в пределах 0,8–0,9 для плотных почв и 0,75–0,85 для полевых условий;

k_C – поправочный коэффициент момента сопротивления [15]

$$k_C = (1 + x_0^2) \cdot (1 + x_0 \chi_0) - 4x_0 \chi_0; \quad (13)$$

k_L – коэффициент, учитывающий давление под опорной поверхностью гусениц.

Из уравнений (8), (9), (11) следует, что момент сопротивления повороту трактора зависит от коэффициента сопротивления движению f , коэффициента сопротивления повороту μ_{Π} , длины опорной поверхности гусениц L и ширины колеи трактора B .

Согласно расчётам по выражениям (2), (10), (11), (12), (13) построены графики зависимостей внешнего радиуса поворота трактора ρ_{Π} от ширины гусениц b и момента сопротивления повороту M_C от коэффициента k_L для различных значений длины опорной поверхности гусениц L , представленные на рисунке 6.

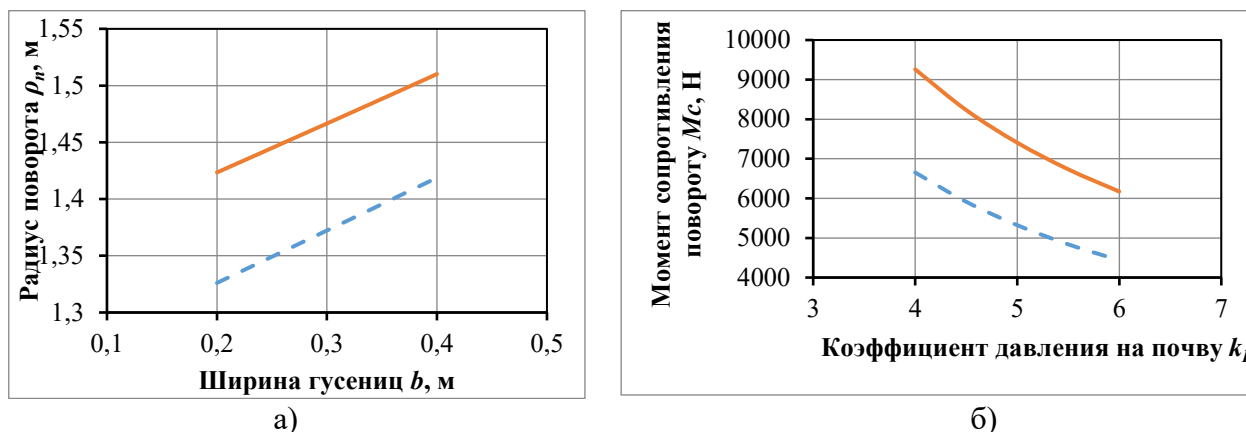


Рисунок 6. Графики зависимостей:

- а) внешнего радиуса поворота трактора ρ_n от ширины гусениц b ;
б) момента сопротивления повороту M_c от коэффициента k_L при различной опорной длине продольной базы - - - $L_1 = 1,03$ м, — $L_2 = 1,46$ м

Анализ представленных на рисунке 6 графиков показывает, что при подъёме направляющего колеса трактора с гусеницами шириной b от 200 до 400 мм радиус его поворота ρ_n уменьшается в 1,1 раза. Меняя высоту расположения направляющего колеса, можно изменить распределение давления по опорной поверхности гусениц, что приведёт к увеличению значения коэффициента k_L с 4–4,5 до 5,5–6 и, следовательно, позволит уменьшить в 1,4–2 раза значение момента сопротивления повороту трактора со стороны почвы.

Согласно графическим зависимостям (рисунок 6), для улучшения поворотливости трактора следует уменьшить величину момента сопротивления повороту путем снижения коэффициента сопротивления повороту μ_n , увеличения коэффициента k_L или уменьшения отношения L/B . Положение направляющего колеса позволяет изменять продольную базу и распределение давления по опорной поверхности гусениц и, следовательно, изменить значение момента сопротивления повороту со стороны почвы, а изменением давления на почву под опорной поверхностью гусениц можно улучшить поворотливость трактора за счёт уменьшения сопротивления его повороту.

Заключение. По результатам экспериментальных исследований определения зависимости деформационных характеристик почвы под фрагментами гусеничных трактов в почвенном канале установлены закономерности уплотняющего воздействия на почву специального трактора с металлическими и резиноармированными гусеницами различной опорной поверхности.

Проведен кинематический и силовой анализ маневренности гусеничного трактора с конструктивными особенностями ходовой системы.

Полученные данные могут быть использованы на стадии проектирования ходовой системы специального гусеничного трактора.

Список источников

1. Русанов В. А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. М. : ВИМ, 1998. 368 с.
2. Кушнарев А. С., Мацепуро В. М. Уменьшение вредного воздействия на почву рабочих органов и ходовых систем машинных агрегатов при внедрении промышленных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. М. : Всесоюзный ордена «Знак Почета» сельскохозяйственный институт заочного образования, 1986. 56 с.

3. Черепанов Г. Г., Чудиновских В. М. Уплотнение пахотных почв и пути его устранения. М. : МС Агроинформ, 1987. 62 с. (Серия «Обзоры по важнейшим научно-техническим проблемам»).
4. Определение нормативов допустимых давлений на почву / А. Г. Бондарев, В. А. Русанов, П. М. Сапожников [и др.] // Переуплотнение пахотных почв. Причины, следствия, пути уменьшения. М. : Наука, 1987. С. 166–173.
5. Кравченко В. И. Уплотнение почв машинами. Алма-Ата : Наука, 1986. 96 с.
6. Влияние ходовых систем тракторов на уплотнение почвы / Н. Н. Романюк, И. С. Крук, А. Н. Орда [и др.] // Агропанорама. 2024. № 1 (161). С. 2–11.
7. Ходовая система гусеничного трактора / Е. С. Наумов, В. Ф. Платонов, В. М. Шарипов [и др.]. М. : МГТУ «МАМИ», 2011. 64 с.
8. Шарипов В. М. Конструирование и расчет тракторов : учебник для студентов вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 2009. 752 с.
9. Проблема воздействия на почву ходовых систем мобильных энергосредств и эффективные пути решения / З. А. Годжаев, В. Г. Шевцов, А. В. Русанов, В. И. Прядкин // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий : сборник научных докладов Международной научно-технической конференции (17–18 сентября 2014 г., Москва). М. : ФГБНУ ВИМ, 2014. С. 327–329.
10. Львов Е. Д. Тракторы их конструкция и расчет. 2-е изд., испр. и доп. М.–Л. : Государственное научно-техническое издательство, 1931. 655 с.
11. Горобей В. П. Исследование влияния параметров основных компоновочных узлов узкогабаритного гусеничного трактора на показатели его устойчивости // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2024. № 38 (201). С. 208–220.
12. Семенов В. М., Власенко В. Н. Трактор. М. : Агропромиздат, 1989. 352 с.
13. Трактор Т-70С : учебное пособие для средних сельских профессионально-технических училищ / А. Ф. Крыстя, А. П. Новиков, Ю. Г. Урасов, М. М. Харлан. М. : Высшая школа, 1979. 150 с.
14. Методы и средства натурной тензометрии : справочник / М. Л. Дайчик, Н. И. Пригоровский, Г. Х. Хуршудов. М. : Машиностроение, 1989. 240 с.
15. Анилович В. Я., Водолаженко Ю. Т. Расчёт и конструирование сельскохозяйственных тракторов : справочное пособие. М. : Машиностроение, 1976. 456 с.
16. Львов Е. Д. Теория трактора. 5-е изд., испр. и доп. М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1960. 252 с.

Refetences

1. Rusanov VA. Problema pereuplotneniya pochv dvizhitelyami i effektivnyye puti yeye resheniya = The problem of soil compaction by movers and the effective ways of its solving. Moscow: VIM; 1998. 368 p. (In Russ.).
2. Kushnarev AS, Matsepuro VM. Umen'sheniye vrednogo vozddeystviya na pochvu rabochikh organov i khodovykh sistem mashinnykh agregatov pri vnedrenii industrial'nykh tekhnologiy vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur = Reducing the harmful impact of working bodies and running systems of machine units on the soil when introducing industrial technologies for cultivating agricultural crops. Moscow: Vsesoyuznyy ordena Znak Pocheta sel'skokhozyaystvennyy institut zaochnogo obrazovaniya; 1986. 56 p. (In Russ.).
3. Cherepanov GG, Chudinovskikh VM. Uplotneniye pakhotnykh pochv i puti yego ustraneniya. Obzory po vazhneyshim nauchno-tekhnicheskim problemam = The compaction of arable soils and ways of its elimination. Reviews on the most important scientific and technical problems. Moscow: MS Agroinform Publishing; 1987. 62 p. (In Russ.).
4. Bondarev AG, Rusanov VA, Sapozhnikov PM, Sedov MV, Utkaeva VF, ShchepotyeV VN. Opredeleniye normativov dopustimyykh davleniy na pochvu. Pereuplotneniye pakhotnykh pochv. Prichiny, sledstviya, puti umen'sheniya = Determination of standards for permissible pressure

- on the soil. Compaction of arable soils. Causes, consequences, ways of reduction. Moscow: Nauka Publishing; 1987. P. 166–173. (In Russ.).
5. Kravchenko VI. Uplotneniye pochv mashinami = Soil compaction by machines. Alma-Ata: Nauka Publishing; 1986. 96 p. (In Russ.).
 6. Romanyuk NN, Kruk IS, Orda AN, Shklyarevich VA, Rakova NL, Vorobey AS. The influence of tractor running gears on soil compaction. Agropanorama. 2024;(1):2–11. (In Russ.).
 7. Naumov ES, Platonov VF, Sharipov VM, Shchetinin YuS, Eglit IM. Khodovaya sistema gusenichnogo traktora = The running gear of a crawler tractor. Moscow: MGTU MAMI; 2011. 64 p. (In Russ.).
 8. Sharipov VM. Konstruirovaniye i raschet traktorov = Design and calculation of tractors. 2nd ed. Moscow: Mashinostroenie Publishing; 2009. 752 p. (In Russ.).
 9. Godzhaev ZA, Shevtsov VG, Rusanov AV, Pryadkin VI. Problema vozdeystviya na pochvu khodovykh sistem mobil'nykh energosredstv i effektivnyye puti resheniya = The problem of the impact on the soil of the running systems of mobile power vehicles and the effective solutions. In: Innovatsionnoye razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii = Innovative development of the agro-industrial complex of Russia based on intelligent machine technologies. Collection of scientific reports of the International scientific and technical conference (September 17–18 2014, Moscow). Moscow: FGBNU VIM; 2014. P. 327–329. (In Russ.).
 10. Lvov ED. Traktory ikh konstruktsiya i raschet = Tractors, their design and calculation. 2nd ed. Moscow–Leningrad: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo. 1931. 655 p. (In Russ.).
 11. Gorobey VP. Study of the influence of the parameters of the main assembly units of a narrow-sized crawler tractor on its stability indicators. Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavriy. 2024;(38):208–220. (In Russ.).
 12. Semenov VM, Vlasenko VN. Tractor. Moscow: Agropromizdat Publishing; 1989. 352 p. (In Russ.).
 13. Krystya AF, Novikov AP, Urasov YuG, Kharlan MM. Traktor T-70S = Tractor T-70C. Moscow: Vysshaya shkola Publishing; 1979. 150 p. (In Russ.).
 14. Daichik ML, Prigorovsky NI, Khurshudov GH. Metody i sredstva naturnoy tenzometrii: Spravochnik = Methods and means of full-scale tensometry: Handbook. Moscow: Mashinostroyeniye Publishing; 1989. 240 p. (In Russ.).
 15. Anilovich VYa, Vodolazchenko YuT. Raschët i konstruirovaniye sel'skokhozyaystvennykh traktorov. Spravochnoye posobiye = Calculation and design of agricultural tractors. Reference manual. Moscow: Mashinostroyeniye Publishing; 1976. 456 p. (In Russ.).
 16. Lvov ED. Teoriya traktora = Tractor Theory. 5th ed. Moscow: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo mashinostroitel'noy literatury; 1960. 93 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Горобей Василий Петрович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник группы разработки и исследований макетных и экспериментальных технологических установок Крымского научно-исследовательского центра виноградарства и виноделия «Магарах» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», ул. Кирова, д. 31, г. Ялта, Российская Федерация, 298600
e-mail: trial237@rambler.ru

Старчиков Сергей Сергеевич, ведущий инженер группы разработки и исследований макетных и экспериментальных технологических установок Крымского научно-исследовательского центра виноградарства и виноделия «Магарах» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», ул. Кирова, д. 31, г. Ялта, Российская Федерация, 298600
e-mail: ryjgrf048@mail.ru

Москалевич Вадим Юрьевич, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры технических систем в агробизнесе ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Институт «Агротехнологическая академия», старший научный сотрудник группы разработки и исследований макетных и экспериментальных технологических установок Крымского научно-исследовательского центра виноградарства и виноделия «Магарах» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», пгт. Аграрное, Республика Крым, Российская Федерация, 295492
e-mail: v_moskalevich@mail.ru

Information about the authors

Gorobey Vasily Petrovich, doctor of technical sciences, leading researcher of the group for the development and research of mock-up and experimental technological installations, Crimean Research Center for Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the Research Center "Kurchatov Institute", 31 Kirova Street, Yalta, 298600, the Russian Federation
e-mail: trial237@rambler.ru

Starchikov Sergey Sergeevich, leading engineer of the group for the development and research of mock-up and experimental technological installations, the Crimean Research Center for Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the Research Center "Kurchatov Institute", 31 Kirova Street, Yalta, 298600, the Russian Federation
e-mail: ryjgrf048@mail.ru

Moskalevich Vadim Yurievich, doctor of technical sciences, associate professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness; "Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky", Institute "Agrotechnological Academy"; senior researcher of the group for the development and research of mock-up and experimental technological installations of the Crimean research center for viticulture and winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the Research Center "Kurchatov Institute", Agrarnoye, Republic of Crimea, 295492, the Russian Federation
e-mail: v_moskalevich@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

30.07.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

07.08.2026

принята к публикации / accepted for publication

25.08.2026

Научная статья
УДК 004.8 ; 631.361:635
DOI 10.66783/2782-3172.2026.76.44.009

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СОРТИРОВКИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПО РАЗМЕРУ И ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Алексей Генрихович Иванов, Марат Фирдависович Гадлгареев, Альберт Ильсурович Галимов
Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Алексей Генрихович Иванов, ivalgen@inbox.ru

Аннотация

В статье представлен обзор существующих технологий сортировки клубней картофеля и обосновывается перспективность применения методов искусственного интеллекта (ИИ) и компьютерного зрения для автоматизации данного процесса. Рассмотрена архитектура системы на основе RGB-камеры, осуществляющей анализ объема, определение размерных категорий и идентификацию дефектных клубней в режиме реального времени. Описан подход к формированию обучаемой модели на базе свёрточных нейронных сетей, а также концепция дистилляции знаний – создания детерминированной базы решающих правил, способной функционировать без нейросетевого модуля. Показано, что точность классификации современных систем на базе ИИ превышает 95 %, что существенно превосходит возможности ручного сортирования.

Ключевые слова: искусственный интеллект, компьютерное зрение, сортировка картофеля, свёрточные нейронные сети, определение размеров, детекция дефектов, дистилляция знаний

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств авторов

Для цитирования: Иванов А. Г., Гадлгареев М. Ф., Галимов А. И. Применение технологий искусственного интеллекта для автоматизированной сортировки клубней картофеля по размеру и выявления дефектов на основе компьютерного зрения // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 88–94. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.76.44.009.

APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES FOR AUTOMATED SIZE-BASED SORTING OF POTATO TUBERS AND DEFECT DETECTION USING COMPUTER VISION

Alexey G. Ivanov, Marat F. Gadlgareev, Albert I. Galimov
Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia
Corresponding author: Alexey G. Ivanov, ivalgen@inbox.ru

Abstract

The article presents the review of existing potato tubers sorting technologies and substantiates the prospects of applying artificial intelligence (AI) and computer vision methods for automating this

process. The authors consider the architecture of the system based on the RGB camera, which performs the volume analysis, size category determination, and identification of defective tubers in real time. The approach to developing a trainable model based on convolutional neural networks is described, as well as the concept of knowledge distillation — the creation of a deterministic decision rule base capable of functioning without a neural network module. It is shown that the classification accuracy of modern AI-based systems exceeds 95 %, which significantly surpasses the capabilities of manual sorting.

Keywords: artificial intelligence, computer vision, potato sorting, convolutional neural networks, size determination, defect detection, knowledge distillation

Funding: the research on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Ivanov AG, Gadlgareev MF, Galimov AI. Applying artificial intelligence technologies for automated size-based sorting of potato tubers and defect detection using computer vision. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):88–94. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.76.44.009. (In Russ.).

Введение. Картофель является одной из ключевых продовольственных культур в мире. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), глобальное производство картофеля превышает 370 млн тонн ежегодно, при этом послеуборочные потери, обусловленные неэффективной сортировкой, некорректным хранением и механическими повреждениями, составляют от 10 до 25 % в зависимости от региона [1]. Сортировка является одним из критических этапов послеуборочной обработки, определяющим товарные качества продукции и её соответствие стандартам пищевой безопасности.

Традиционно сортировка картофеля осуществляется тремя основными способами: ручным, механическим и оптико-электронным. Ручная сортировка в виде переборки вороха картофеля для выделения примесей и некондиционных клубней по-прежнему доминирует на малых и средних предприятиях, однако характеризуется низкой производительностью (0,5–1,5 т/ч на одного оператора), субъективностью оценок и высокой зависимостью от квалификации персонала. Механическая сортировка (на основе калибровочных решёт, барабанных и роликовых сепараторов) обеспечивает разделение по размеру, но не способна выявлять качественные дефекты: позеленение, гниль, механические повреждения, прорастание. Оптико-электронные системы первого поколения, использующие пороговую обработку цветowych каналов, обладают ограниченной адаптивностью к естественной биологической вариативности сырья и сезонным изменениям [2].

В 2024–2025 годах наблюдается качественный скачок в развитии систем автоматизированного контроля качества сельскохозяйственной продукции, обусловленный прогрессом в области глубокого обучения (Deep Learning), доступностью высокопроизводительных модулей периферийных вычислений (edge computing) и снижением стоимости аппаратных средств машинного зрения. Рынок роботизированной сортировки картофеля с применением ИИ в 2025 году оценивался в 1,8 млрд долларов США при прогнозируемом среднегодовом темпе роста 9,4 %. Современные промышленные системы (Tomra, Key Technology, SiftAI и др.) способны обрабатывать более 20 т/ч при точности обнаружения дефектов выше 98,5 % [3].

Цель настоящей работы – обзор технологического стека для построения системы автоматизированной сортировки клубней картофеля на основе RGB-камеры и методов искусственного интеллекта, выполняющей одновременно определение размерных категорий (калибровку) и детекцию дефектных клубней, а также обоснование концепции формирования детерминированной базы решающих правил по результатам обучения нейросетевой модели.

Материалы и методы.

Архитектура предлагаемой системы. Предлагаемая система представляет собой модуль, устанавливаемый над конвейерной лентой сортировочной линии (рисунок 1). Архитектура включает следующие функциональные блоки:

1. Блок захвата изображений – промышленная RGB-камера с разрешением не менее 1384×1032 пикселей (например, GS3-U3-15S5C-C), оснащённая системой контролируемого светодиодного освещения для обеспечения стабильных условий съёмки. Камера фиксирует изображения клубней сверху при их движении по конвейеру. Для повышения точности определения объёма рекомендуется дополнительная боковая камера.
2. Блок обработки данных (вычислительный модуль) – промышленный компьютер, выполняющий инференс нейросетевых моделей в реальном времени. Модуль реализует периферийные вычисления (edge computing), что исключает необходимость передачи данных на удалённый сервер и обеспечивает минимальную задержку.
3. Блок принятия решений и исполнительных механизмов – контроллер, получающий от вычислительного модуля классификационную метку каждого клубня и активирующий соответствующий исполнительный механизм (пневматические воздушные форсунки или откидные планки) для направления клубня в одну из выходных категорий: крупный, средний, мелкий, дефектный.

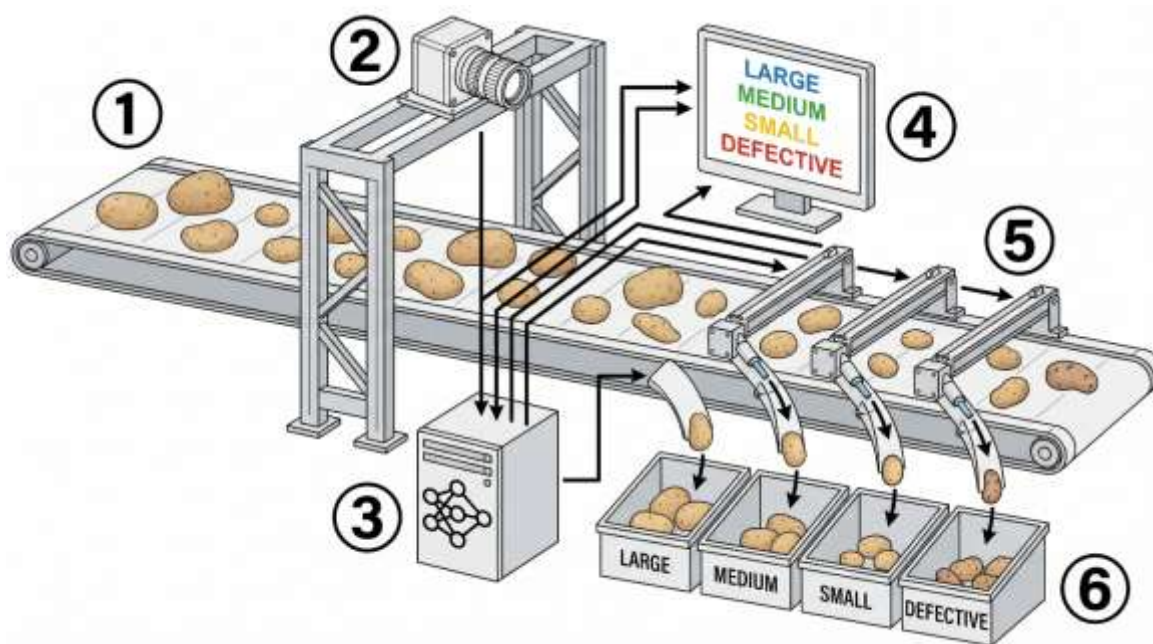


Рисунок 1. Принципиальная схема системы автоматизированной сортировки клубней картофеля на основе ИИ:

- 1 – конвейерная лента подачи клубней; 2 – промышленная RGB-камера высокого разрешения;
3 – вычислительный модуль (блок обработки данных на базе ИИ, edge computing);
4 – дисплей оператора с отображением результатов классификации (крупный / средний / мелкий / дефектный); 5 – исполнительные механизмы (пневматические форсунки / откидные планки); 6 – выходные накопительные бункеры (каналы сброса продукции)

Методы определения размеров и объёма клубней. Определение геометрических параметров клубня по двумерному RGB-изображению осуществляется посредством сегментации клубня от фона; выполняется пороговым методом на основе цветового контраста (фон конвейера выбирается контрастным), вычисление геометрических дескрипторов, оценка объёма, калибровка [1].

Методы детекции дефектов. Для выявления внешних дефектов (позеленение, гниль, прорастание, парша, механические повреждения) применяется сверточная нейронная сеть архитектуры.

Формирование обучающего набора данных. Набор данных формируется в ходе эксплуатации системы по принципу непрерывного обучения:

- на начальном этапе используется предварительно размеченный набор (не менее 5 000 аннотированных изображений с выделением классов: кондиционный клубень, позеленение, гниль, прорастание, парша, механические повреждения);
- в ходе работы система автоматически сохраняет изображения, для которых уровень уверенности классификатора ниже установленного порога (soft labeling), эти изображения передаются оператору для верификации и включения в обучающую выборку;
- периодически (ежемесячно или при смене сорта/сезона) выполняется дообучение (fine-tuning) модели на расширенном наборе данных. Применяется аугментация данных: вращение, отражение, изменение яркости и контраста для повышения робастности модели [3].

Концепция дистилляции знаний: от нейросети к детерминированной базе правил. Ключевой концептуальной идеей данной работы является создание на основе обученной нейросетевой модели детерминированной базы решающих правил, которая может функционировать без нейросетевого модуля на простых программируемых контроллерах.

Процесс дистилляции знаний включает:

- накопление статистики – в процессе работы ИИ-система формирует базу данных, содержащую для каждого клубня его геометрические дескрипторы (L, W, S, C, V), цветовые гистограммы, текстурные признаки и присвоенную классификационную метку;
- извлечение правил – методами интерпретируемого машинного обучения (деревья решений, правила ассоциации) из накопленных данных извлекаются пороговые значения и логические правила вида: «ЕСЛИ $L > 80$ мм И $W > 55$ мм И отсутствие зелёных пикселей $>$ порога θ_1 , ТО категория = "крупный кондиционный"»;
- валидация правил – набор правил проверяется на тестовой выборке и при достижении приемлемой точности (≥ 90 %) передаётся для исполнения на контроллер без нейросетевого блока.

Данный подход позволяет существенно снизить стоимость серийного оборудования, поскольку на этапе эксплуатации не требуется дорогостоящий GPU-модуль – достаточно простого промышленного контроллера с камерой.

Результаты. На основании анализа литературных данных и рыночных решений систематизированы основные характеристики технологий сортировки картофеля (таблица 1).

Анализ показывает, что системы на базе ИИ превосходят все альтернативные подходы по совокупности параметров.

Промышленная система подтверждает возможность практического применения описанного подхода: система фиксирует распределение по размерам, логирует обнаруженные дефекты и автоматически сохраняет изображения для дальнейшего дообучения.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов сортировки клубней картофеля

Параметр	Ручная сортировка	Механическая сортировка (решёта)	Оптическая (пороговая) сортировка	ИИ + компьютерное зрение
Производительность, т/ч	0,5–1,5	5–15	10–20	20–30
Точность калибровки по размеру, мм	±5–10	±3–5	±1–2	±0,5
Детекция внешних дефектов	Да (субъективно)	Нет	Частичная	Да (> 50 типов)
Детекция внутренних дефектов	Нет	Нет	Нет	Возможна (мульти-спектральные датчики)
Точность определения дефектов, %	70–85	-	80–90	95–99,5
Адаптивность к сортам/сезонам	Высокая (оператор)	Низкая	Низкая	Высокая (дообучение)
Число операторов на линию	6–10	1–2	1	0–1

Обсуждение. Полученные результаты обзора позволяют выделить несколько ключевых аспектов.

Во-первых, применение свёрточных нейронных сетей архитектуры для одновременного решения задач детекции и классификации дефектов является на сегодняшний день наиболее эффективным подходом. Однако точность единичного детектора может быть недостаточной для промышленных стандартов, что обуславливает необходимость каскадных архитектур с реклассификацией и экспертными правилами [2].

Во-вторых, определение объёма клубня по одному верхнему изображению является задачей с потерей информации (проекция трёхмерного объекта на плоскость). Использование эмпирических регрессионных зависимостей для оценки высоты клубня обеспечивает приемлемую точность для массовой калибровки, однако для прецизионных задач (например, определение массы с точностью $\pm 0,1$ г) рекомендуется использование стереопары или структурированной подсветки [3].

В-третьих, предложенная концепция дистилляции знаний представляет значительный практический интерес. Обученная нейросеть, работая в течение нескольких сезонов, накапливает обширную базу решений, которая отражает специфику конкретного предприятия (сорта, условия хранения, типичные дефекты). Преобразование этих знаний в набор интерпретируемых правил решает несколько задач: (а) снижение стоимости серийного оборудования – вместо GPU-модуля стоимостью 500–1500 USD достаточно контроллера стоимостью 50–100 USD; (б) повышение прозрачности принятия решений, что важно для сертификации в пищевой отрасли; (в) обеспечение работоспособности при отсутствии интернет-соединения и ограниченном энергоснабжении. При этом необходимо учитывать, что детерминированная база правил неизбежно уступает нейросети по гибкости и точности в граничных случаях, поэтому рекомендуется периодическая актуализация правил с привлечением ИИ-модуля.

В-четвёртых, рыночные данные подтверждают экономическую эффективность внедрения: окупаемость составляет 18–24 месяца при сокращении отходов на 4–7 % и замене 6–10 операторов одной установкой [3]. Вместе с тем приведённые оценки относятся к предприятиям с уже подготовленной инфраструктурой; для хозяйств, требующих дополнительных капитальных вложений в обустройство помещения и систем защиты оборудования, реальный срок окупаемости может увеличиться. Снижение стоимости аппаратных средств (на 52 % за период 2020–2025 гг.) тем не менее делает технологию доступной и для средних хозяйств.

Среди ограничений следует отметить: зависимость качества детекции от условий освещения и загрязнённости конвейера; необходимость формирования обучающего набора данных для каждого нового сорта; чувствительность к окклюзиям при плотном расположении клубней на ленте. Дополнительным практическим ограничением является высокая чувствительность вычислительного оборудования к условиям эксплуатации: для обеспечения штатной работы ИИ-модуля необходимы защищённый шкаф, принудительная вентиляция и бесперебойное электроснабжение, что требует соответствующих капитальных вложений и напрямую влияет на реальный срок окупаемости системы.

Заключение. Проведён обзор существующих технологий сортировки клубней картофеля – от ручных и механических до современных систем на базе искусственного интеллекта и компьютерного зрения. Показано, что ИИ-системы обеспечивают принципиально более высокую точность (95–99,5 %) и производительность (до 30 т/ч) по сравнению с традиционными методами.

Обоснована архитектура системы автоматизированной сортировки на основе RGB-камеры и свёрточных нейронных сетей, выполняющей одновременно калибровку клубней по размеру (точность $\pm 0,5$ мм) и детекцию внешних дефектов шести типов.

Предложена концепция дистилляции знаний – формирования детерминированной базы решающих правил по результатам работы обученной нейросети. Данный подход позволяет в дальнейшем осуществлять сортировку без нейросетевого модуля, что существенно снижает стоимость серийного оборудования и повышает его доступность для средних и малых сельскохозяйственных предприятий.

Определены направления дальнейших исследований: экспериментальная верификация предложенной архитектуры на реальной сортировочной линии; количественная оценка потери точности при переходе от нейросети к детерминированным правилам; разработка адаптивных алгоритмов дообучения при смене сорта и сезона.

Список источников

1. FAO. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome: FAO, 2019. 38 p.
2. Reducing soil, stones, and defects: Advances in potato sorting and screening // Potato News Today. 2026. URL: <https://www.potatonewstoday.com> (дата обращения: 09.09.2026).
3. SiftAI® Multi-Lane Potato Sorting, Sizing, & Grading System // KPM Analytics. URL: <https://www.kpmanalytics.com> (дата обращения: 09.09.2026).

References

1. FAO. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome: FAO, 2019. 38 p.
2. Reducing soil, stones, and defects: Advances in potato sorting and screening. Potato News Today. 2026. URL: <https://www.potatonewstoday.com> [Accessed 09 September 2026].
3. Sift AI. Multi-Lane Potato Sorting, Sizing, & Grading System. KPM Analytics. URL: <https://www.kpmanalytics.com> [Accessed 09 September 2026].

Информация об авторах

Иванов Алексей Генрихович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретическая механика и сопротивление материалов», ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Студенческая ул., д. 9, г. Ижевск, Российская Федерация, 426069

e-mail: ivalgen@inbox.ru

Гадлгареев Марат Фирдависович, аспирант кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов», ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Студенческая ул., 9, г. Ижевск, Российская Федерация, 426069

Галимов Альберт Ильсурович, аспирант кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов», ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Студенческая ул., 9, г. Ижевск, Российская Федерация, 426069

Information about the authors

Ivanov Alexey Genrikhovich, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of Theoretical Mechanics and Strength of Materials, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State Agricultural University», 9 Studencheskaya Street, Izhevsk, 426069, the Russian Federation
e-mail: ivalgen@inbox.ru

Gadlgareev Marat Firdavisovich, postgraduate student, department of Theoretical Mechanics and Strength of Materials, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State Agricultural University», 9 Studencheskaya Street, Izhevsk, 426069, the Russian Federation

Galimov Albert Isurovich, postgraduate student, department of Theoretical Mechanics and Strength of Materials, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State Agricultural University», 9 Studencheskaya Street, Izhevsk, 426069, the Russian Federation

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

10.09.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

15.09.2026

принята к публикации / accepted for publication

21.09.2026

Научная статья
УДК 631.3.001.2
DOI 10.66783/2782-3172.2026.87.13.010

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ И РАЗМЕРА ОТВЕРСТИЙ ФОРСУНОК НА РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧЕГО РАСТВОРА

Олег Олегович Сидоров (ORCID: 0009-0003-9829-4368), Губейдулла Сибятуллович Юнусов (ORCID: 0000-0003-2127-6439)
Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия
Автор, ответственный за переписку: Олег Олегович Сидоров, oleg.sidorov23@yandex.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследования влияния конструктивных параметров форсунок на равномерность распределения жидких удобрений. Проведен анализ существующих конструкций, предложены новые технические решения по оптимизации формы и размеров отверстий распылителей.

Ключевые слова: форсунки, распылители, жидкие удобрения, равномерность распределения, каплеобразование, конструкция, оптимизация

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет средств авторов

Для цитирования: Сидоров О. О., Юнусов Г. С. Исследование влияния формы и размера отверстий на равномерность распределения рабочего раствора // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 95–105. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.87.13.010.

INVESTIGATING THE INFLUENCE OF THE SHAPE AND SIZE OF NOZZLE HOLES ON THE WORKING SOLUTION DISTRIBUTION UNIFORMITY

Oleg O. Sidorov (ORCID: 0009-0003-9829-4368), Gubeidulla S. Yunusov (ORCID: 0000-0003-2127-6439)
Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia
Corresponding author: Oleg O. Sidorov, oleg.sidorov23@yandex.ru

Abstract

The article presents the results of studying the influence of the design parameters of nozzles on the uniformity of liquid fertilizer distribution. The analysis of existing designs was carried out, and new technical solutions for optimizing the shape and dimensions of sprayer holes were proposed.

Keywords: nozzles, sprayers, liquid fertilizers, uniformity of distribution, droplet formation, design, optimization

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Sidorov OO, Yunusov GS. Investigating the influence of the shape and size of nozzle holes on the working solution distribution uniformity. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):95–105. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.87.13.010 (In Russ.).

Введение. Эффективность внесения жидких удобрений во многом зависит от качества работы распыливающих элементов. Равномерность распределения рабочего раствора является ключевым показателем, определяющим эффективность использования удобрений и урожайность сельскохозяйственных культур [4, 6].

Целью исследования является разработка и обоснование оптимальных конструктивных параметров форсунок, обеспечивающих равномерное распределение рабочего раствора при внесении жидких удобрений.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

- установление взаимосвязи между геометрией проходного сечения форсунки и гидродинамическими характеристиками потока;
- оценка влияния формы отверстия на дисперсность распыла и равномерность покрытия обрабатываемой поверхности

Материалы и методы. В экспериментальной части исследования использовались форсунки с различными формами проходного сечения – в частности, круглые и эллипсовидные сопла, спроектированные с учётом расчётных значений коэффициентов расхода и требуемого объёмного расхода рабочей жидкости.

Для количественной оценки расходных характеристик применялся объёмно-гравиметрический метод: измерение объёма собранной жидкости в мерных ёмкостях за фиксированный интервал времени с последующим пересчётом на объёмный расход (Q , л/мин). Серия измерений включала не менее пяти повторностей для каждого типа форсунки с целью минимизации случайных погрешностей и статистической оценки воспроизводимости результатов.

Оценка дисперсности распыла и пространственного распределения рабочей жидкости осуществлялась с применением методики регистрации следов капель на водочувствительной фильтровальной бумаге. Методика базировалась на стандартизованных подходах к визуализации факела распыла и включала следующие этапы [1, 5]:

1. Размещение листов водочувствительной бумаги на горизонтальной поверхности на фиксированном расстоянии $L = 50$ см от среза сопла.
2. Проведение распыла в течение нормированного $t = 2$ с при постоянном рабочем давлении $P = 3$ атм.
3. После экспозиции — оптическая микроскопия центральной зоны факела с формированием статистической выборки не менее чем из $n = 100$ характерных пятен, интерпретируемых как проекции капель. По размерам пятен определялся средний диаметр капель (d_{32} , мкм) и рассчитывалась плотность покрытия (количество следов на единицу площади).
4. Для оценки равномерности распределения, бумаги размещались по всей ширине факела с разделением на три характерные зоны (центр, середина, край) и последующей оценкой относительной площади смоченных участков в каждой зоне.

В качестве модельной рабочей жидкости использовалась вода ($\rho = 1000$ кг/м³), что позволяло исключить влияние вариативности физико-химических свойств реальных удобрений на первичные гидродинамические параметры. При этом полученные закономерности по влиянию геометрии сопла на характеристики распыла могут быть экстраполированы на рабочие растворы сопоставимой вязкости и плотности с введением соответствующих поправочных коэффициентов.

Обработка экспериментальных данных выполнялась методами математической статистики: рассчитывались средние значения, среднеквадратичные отклонения, доверительные интервалы при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Сравнение выборок проводилось с использованием критериев, обеспечивающих достоверность выводов о различиях между исследуемыми типами форсунок [2, 6].

Результаты и обсуждение. В данном разделе представлены результаты собственных экспериментальных исследований, а также расчётные данные, полученные с использованием методик и формул из литературных источников [3, 4, 6]. В процессе экспериментального исследования были задействованы два конструктивных варианта форсунок для проведения сравнительных испытаний.

В качестве базового образца использовались стандартные щелевые форсунки с классическим круглым сечением сопла (рисунок 1, а). Они представляли собой типовую конструкцию серийных распылителей с постоянным диаметром выходного отверстия и формированием конусообразного факела распыла [1, 4].

Второй вариант форсунки представлял собой эллипсовидную форму наконечника (рисунок 1, б) с инновационной конструкцией распыляющего элемента. Их отличительной особенностью являлось специально разработанное эллипсовидное сечение сопла с оптимизированными геометрическими параметрами. Конструкция также предусматривала возможность регулировки угла распыла и модифицированный формирователь струи [1, 4].



Рисунок 1. Варианты конструктивных форсунок для проведения сравнительных испытаний:

а) плоскоструйная щелевая форсунка; б) эллипсовидная форсунка

Оба типа распылителей были интегрированы в телескопическую штангу экспериментальной установки (рисунок 2) и подключены к единой системе подачи рабочего раствора. При проведении испытаний обеспечивались идентичные условия работы для обоих вариантов: одинаковое давление подачи жидкости, скорость перемещения агрегата, температура и вязкость рабочего раствора [4].



Рисунок 2. Место установки форсунок

Гидравлические расчёты, представленные ниже, выполнены по методикам, описанным в работах [3, 4, 6], и расчётные значения коэффициентов расхода ($\mu_{\text{ш}} = 0,75$ и $\mu_{\text{элп}} = 0,82$) приняты на основе данных этих источников. В рамках исследования выполнена сравнительная оценка гидродинамических характеристик двух типов распылительных устройств – круглого сопла и щелевой форсунки – при идентичном объёмном расходе рабочей жидкости. Целью расчёта являлось определение геометрических параметров обоих типов сопел, обеспечивающих эквивалентный расход $Q = 1,0 \text{ л/мин} = 1,67 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ при рабочем давлении $P = 3 \text{ атм} = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$. В качестве модельной жидкости принята вода с плотностью $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. При расчётах учтены различия в коэффициентах расхода для щелевой форсунки $\mu_{\text{ш}} = 0,75$, эллипсного сопла $\mu_{\text{кр}} = 0,82$, что обусловлено повышенными гидравлическими потерями на трение в канале щелевого типа [2, 6].

Первый этап – геометрический расчет щелевой плоской форсунки. Задача щелевой форсунки заключается в формировании плоского веерного факела распыла при сохранении заданного объёмного расхода. Ввиду меньшего коэффициента расхода ($\mu_{\text{ш}} = 0,75$) площадь проходного сечения щелевого канала должна быть скорректирована в сторону увеличения по сравнению с круглым соплом.

Требуемая площадь щели определена из уравнения расхода:

$$S_{\text{щель}} = \frac{Q}{\mu \cdot \sqrt{2P/\rho}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-5}}{0,75 \cdot 24,5} = \frac{1,67 \cdot 10^{-5}}{18,375} \approx 0,91 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (1)$$

Переводим в мм²: $S_{\text{щель}} = 0,91 \text{ мм}^2$.

Для обеспечения технологичности и эксплуатационной надёжности (в частности, предотвращения засорения канала частицами взвеси в жидких удобрениях) высота щели (зазор) была зафиксирована на уровне $h = 0,5 \text{ мм}$. При этом ширина щели b определена как [5]

$$b = \frac{S_{\text{щель}}}{h} = \frac{0,91}{0,5} = 1,82 \text{ мм}. \quad (2)$$

Следовательно, геометрия проходного сечения щелевой форсунки составляет $1,82 \text{ мм} \times 0,5 \text{ мм}$.

Средняя скорость истечения жидкости через щель составила [6]

$$v_{\text{щ}} = \frac{Q}{S_{\text{щель}}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-5}}{9,1 \cdot 10^{-7}} \approx 18,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (3)$$

Скорость жидкости на выходе $\approx 18,4$ м/с (чуть ниже, чем у круга).

Формирование веерного факела с углом раскрытия в диапазоне 80° – 120° достигается за счёт взаимодействия струи с дефлектором, интегрированным в конструкцию форсунки. При этом заданная высота щели $h = 0,5$ мм обеспечивает баланс между требуемой производительностью, качеством распыла и устойчивостью к засорению при работе с суспензионными формами удобрений.

Вторым этапом производим гидродинамический расчет эллипсовидной форсунки [3].

В рамках сравнительного анализа рассмотрена эллипсовидная конфигурация проходного сечения форсунки, функциональная задача которой заключается не в формировании веерного факела, а в интенсификации процесса каплеобразования за счёт развития гидродинамической неустойчивости струи на начальном участке её истечения. В отличие от щелевой форсунки, эллипсовидное сопло призвано оптимизировать качество распыла путём управления структурой потока непосредственно в выходном сечении.

Коэффициент расхода эллипсовидной форсунки принят близким к значению для круглого сопла $\mu_{\text{элл}} = 0,82$, что обусловлено схожей топологией канала и сопоставимым уровнем локальных потерь. Вместе с тем, с учётом эффекта «залипания» струи вдоль большой оси эллипса, приводящего к локальному перераспределению скоростей и увеличению гидравлического сопротивления, расчётная площадь проходного сечения скорректирована путём введения 5 %-го запаса относительно площади эталонного круглого сопла. Таким образом, требуемая площадь эллиптического отверстия составляет

$$S_{\text{элл}} \approx 0,87 \text{ мм}^2.$$

Для обеспечения оптимальных характеристик распыла использовано рекомендованное соотношение полуосей эллипса: отношение большей полуоси к меньшей принято равным 1,25. Обозначим малую полуось как a , тогда большая полуось $b = 1,25a$. Площадь эллипса выражается формулой

$$S = \pi \cdot a \cdot b = \pi \cdot a \cdot (1,25a) = 3,93 \cdot a^2. \quad (4)$$

Приравняв расчётную площадь к требуемому значению, получаем

$$3,93 \cdot a^2 = 0,87 \text{ мм}^2,$$

откуда

$$a^2 = \frac{0,87}{3,93} \approx 0,221 \text{ мм}^2 \\ a \approx 0,47 \text{ мм}.$$

Соответственно, геометрические параметры эллиптического отверстия составляют:

- малая ось (диаметр по малой полуоси): $2a \approx 0,94$ мм;
 - большая ось (диаметр по большой полуоси): $2b = 0,94 \cdot 1,25 \approx 1,18$ мм.
- Таким образом, расчётные размеры эллипсовидной форсунки: $1,18 \text{ мм} \times 0,94$.

Средняя скорость истечения рабочей жидкости через эллиптическое сечение определена из соотношения $v=Q/S$ [2]

$$v_{\text{элл}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-5}}{0,87 \cdot 10^{-6}} = 19,2 \text{ м/с.} \quad (5)$$

Характер течения в эллипсовидной форсунке отличается развитием асимметричных возмущений в струе: из-за неравномерного распределения скоростей по сечению и влияния градиентов давления вдоль большой оси уже на выходе из сопла возникают пульсации, способствующие раннему распаду струи на капли. Данный эффект позволяет интенсифицировать процесс каплеобразования без применения дополнительных конструктивных элементов (например, дефлекторов), что является технологическим преимуществом эллипсовидной геометрии в задачах высокодисперсного распыла.

Полученные данные вносим в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнительный результат гидравлических расчетов щелевой и эллипсовидной форсунок

Параметры	Щелевая форсунка	Эллипсовидная форсунка
Расход (Q)	1,0 л/мин	1,0 л/мин
Давление (Р)	3 атм	3 атм
Форма отверстия	прямоугольник (щель)	эллипс
Размеры отверстия	1,82 мм × 0,5 мм	1,18 мм × 0,94 мм
Площадь отверстия	0,910 мм ²	0,870 мм ²
Кэф. расхода (μ)	0,75	0,82
Скорость истечения	~18,4 м/с	~19,5 м/с
Форма факела	плоский веер (80°–120°)	колеблющаяся струя
Размер капель	средние/крупные	мелкие (на 15–20 % мельче)

Особенности геометрического исполнения и расходные характеристики. Ключевое различие в геометрии исследуемых типов форсунок проявляется в требуемой площади проходного сечения для обеспечения идентичного объёмного расхода рабочей жидкости ($Q = 1,0$ л/мин) при рабочем давлении $P = 3$ атм. Вследствие повышенных гидравлических потерь на трение в щелевом канале (обусловленных большей относительной площадью контакта потока со стенками) площадь проходного сечения щелевой форсунки превышает площадь круглого сопла приблизительно на 9 %. Эллипсовидная форсунка по величине требуемой площади занимает промежуточное положение, что объясняется сочетанием относительно высокого коэффициента расхода ($\mu = 0,82$), сопоставимого с круглым соплом, и необходимости компенсации локальных эффектов перераспределения скоростей (в частности, эффекта «залипания» струи вдоль большой оси эллипса).

Скоростные характеристики истечения существенно различаются в зависимости от геометрии сопла и напрямую определяют особенности формирования факела распыла и эксплуатационные свойства форсунок.

Щелевая форсунка характеризуется наименьшей скоростью истечения ($v \approx 18,4$ м/с). Данная особенность имеет важное практическое значение: пониженная кинетическая энергия струи способствует снижению интенсивности образования мелкодисперсной фракции («пылевого облака») и минимизирует эффект сноса (дрейфа) капель под действием ветровых нагрузок. Это делает щелевую форсунку предпочтительным вариантом при внесении гербицидов, где критическим параметром является локализация рабочей жидкости в заданной зоне обработки.

Эллипсовидная форсунка обеспечивает повышенную скорость истечения ($v \approx 19,5$ м/с), близкую к скорости истечения через круглое сопло. Высокая кинетическая энергия потока

в сочетании с асимметрией сечения инициирует развитие гидродинамических неустойчивостей непосредственно на выходе из сопла, что способствует интенсивному распаду струи на капли. Данный механизм позволяет достичь более высокой степени дисперсности распыла без применения дополнительных конструктивных элементов.

Следующим будет оценка объёмного расхода и стабильности дозирования форсунок (таблица 2). Измерение объёмного расхода осуществлялось гравиметрическим/объёмным методом с применением мерных ёмкостей (рисунок 3).

Таблица 2. Расход форсунок

Параметры	Щелевая плоская форсунка	Эллипсовидная форсунка
Замер № 1	1015 мл	998 мл
Замер № 2	1022 мл	1005 мл
Замер № 3	1008 мл	997 мл
Средний расход	1015 мл/мин	1000 мл/мин
Отклонение от номинала (1 л/мин)	+1,5 %	0 %
Стабильность потока	высокая (пульсации почти нет)	средняя (видна слабая вибрация струи)

Результаты показали, что обе форсунки обеспечивают поддержание номинального расхода в пределах допустимой погрешности. При этом зафиксировано незначительное превышение расхода у щелевой форсунки по сравнению с эллипсовидной (рисунок 3). Данный эффект обусловлен большей площадью проходного сечения щелевого канала ($S_{щ} = 0,91 \text{ мм}^2$, геометрия $1,82 \times 0,5 \text{ мм}$) относительно эллипсовидного отверстия ($S_{элл} \approx 0,87 \text{ мм}^2$, размеры $1,18 \times 0,94 \text{ мм}$).



а)



б)

Рисунок 3. Расход жидкости через форсунки в мерной емкости:

а) щелевая форсунка; б) эллипсовидная форсунка

Повышенная стабильность дозирования эллипсовидной форсунки объясняется близостью её коэффициента расхода ($\mu_{элл} = 0,82$) к эталонному значению для круглого отверстия, что обеспечивает более предсказуемую зависимость расхода от давления и снижает чувствительность к малым отклонениям геометрии.

Далее произведем анализ дисперсности распыла и плотности покрытия (таблица 3). Для оценки размеров капель и плотности распределения использовалась методика регистрации следов распыла на водочувствительной бумаге. Распыление производилось с расстояния $L = 50 \text{ см}$ в течение $t = 2 \text{ с}$. После экспозиции выполнялась оптическая микроскопия центральной зоны факела с последующей статистической выборкой $n = 100$ характерных пятен, интерпретируемых как проекции капель.

Таблица 3. Результаты размеров следов распыла форсунок на водочувствительной бумаге

Параметр	Щелевая плоская	Эллипсовидная
Диаметр пятен (визуально)	крупные, овальные	мелкие, округлые
Средний диаметр пятна (измерено лупой)	~650 мкм	~420 мкм
Расчетный средний размер капли (коэф. растекания 1,8)	~360 мкм	~230 мкм
Диапазон размеров (мин/макс)	200–1100 мкм	120–700 мкм
Однородность (полидисперсность)	высокая (много крупных и мелких)	умеренная (преобладают средние и мелкие)
Количество пятен на 1 см ²	~8–10 шт.	~22–25 шт.

Полученные данные свидетельствуют о существенном различии в дисперсности формируемого аэрозоля.

Эллипсовидная форсунка обеспечивает формирование более мелкодисперсного распыла (рисунок 4, а): средний диаметр капель составил $d_{32} \approx 230$ мкм, что в 1,5 раза меньше, чем у щелевой форсунки (рисунок 4, б) ($d_{32} \approx 360$ мкм).

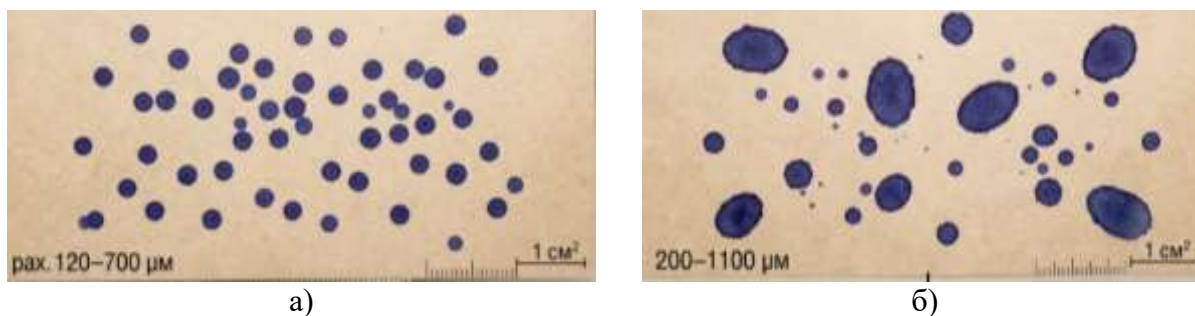


Рисунок 4. Результаты размеров следов распыла форсунок на водочувствительной бумаге:

а) эллипсовидная форсунка; б) щелевая форсунка

Плотность покрытия (количество следов на единицу площади) для эллипсовидной форсунки оказалась приблизительно в 2,52 раза выше по сравнению со щелевой.

Физическое объяснение данного эффекта связано с развитием асимметричных гидродинамических неустойчивостей на выходе из эллипсовидного сопла: неравномерное распределение скоростей по сечению и градиенты давления вдоль большой оси эллипса инициируют пульсации струи, ускоряя её распад на капли меньшего размера.

С агротехнологической точки зрения, повышенная дисперсность эллипсовидной форсунки является определяющим фактором для внекорневой подкормки: капли меньшего диаметра легче проникают в листья растений, при этом повышая эффективность усвоения питательных веществ. Щелевая форсунка, формирующая более крупные капли, характеризуется меньшей склонностью к сносу ветром, однако демонстрирует сниженную эффективность покрытия листовой поверхности.

Проведенные экспериментальные исследования позволили выявить существенные различия в характеристиках распыла форсунок различной геометрической конфигурации. Анализ полученных данных показывает, что форма проходного сечения сопла оказывает комплексное влияние на гидродинамические и дисперсионные характеристики потока.

В ходе исследования установлено, что щелевая форсунка с геометрией $1,82 \times 0,5$ мм демонстрирует расход 1015 мл/мин, что на 1,5 % превышает номинальное значение. Эллипсовидная форсунка с размерами $1,18 \times 0,94$ мм показывает практически идеальный расход 1000 мл/мин. При этом площадь проходного сечения щелевой форсунки (0,91 мм²)

на 9 % превышает площадь эллипсовидной (0,87 мм²), что объясняется более низким коэффициентом расхода (0,75 с сравнением 0,82).

Анализ дисперсионных характеристик выявил значительное различие в размерах капель: эллипсовидная форсунка формирует капли со средним диаметром 230 мкм, что на 36 % меньше, чем у щелевой форсунки (360 мкм). Плотность покрытия при этом различается в 2,5 раза: эллипсовидная форсунка обеспечивает 22-25 капель на см², тогда как щелевая – только 8–10 капель на см².

Исследование равномерности распределения показало, что щелевая форсунка формирует более широкий факел с неравномерным распределением жидкости, где периферийные зоны существенно обеднены. Эллипсовидная форсунка демонстрирует более равномерное распределение в меньшей по ширине зоне.

Экспериментально подтверждено, что эллипсовидная форсунка обеспечивает более эффективное каплеобразование благодаря развитию гидродинамических неустойчивостей в струе. Это подтверждается статистическими данными: при одинаковой скорости подачи (3 атм) эллипсовидная форсунка показывает скорость истечения 19,5 м/с, что незначительно выше, чем у щелевой (18,4 м/с).

Заключение. Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Геометрическая конфигурация проходного сечения форсунки существенно влияет на характеристики распыла. Щелевая форсунка с размерами 1,82 × 0,5 мм и площадью 0,91 мм² обеспечивает стабильный расход 1015 мл/мин при скорости истечения 18,4 м/с. Эллипсовидная форсунка (1,18 × 0,94 мм, площадь 0,87 мм²) демонстрирует расход 1000 мл/мин и скорость 19,5 м/с.

2. Эллипсовидная форсунка обладает следующими преимуществами: формированием более мелких капель (230 мкм против 360 мкм у щелевой форсунки), повышенной плотностью покрытия (в 2,5 раза выше), более равномерным распределением жидкости по обрабатываемой поверхности, а также оптимальным соотношением скорости истечения и размера капель.

3. Щелевая форсунка характеризуется более широким факелом распыла, сниженной склонностью к сносу капель ветром, стабильной работой при повышенных нагрузках и большей площадью покрытия.

4. Практическая значимость работы заключается в возможности обоснованного выбора типа форсунки под конкретные технологические задачи, оптимизации расхода рабочей жидкости, повышения эффективности внесения удобрений и снижения потерь при обработке.

Список источников

1. Калабушев А. Н. Обзор возможных форсунок для внесения жидких удобрений совместно с посевом // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства : сборник статей VII Международной научно-практической конференции, Пенза, 14–15 февраля 2022 года / под научной редакцией Н. П. Ларюшина, О. Н. Кухарева. Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2022. С. 43–46. EDN FGIMWR.
2. Лавров В. И., Кирдишев Д. В. Техническое диагностирование топливных форсунок на стендах в ремонтных мастерских // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 5 (57). С. 65–68. EDN WVQLQX.
3. Обоснование и результаты исследований технологии внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений / Т. С. Байбулатов, Е. А. Судзеровская, М. Г. Исламов [и др.] // Проблемы развития АПК региона. 2018. № 1 (33). С. 109–113. EDN YTUNDU.
4. Сидоров О. О., Шабалин Р. А. Существующие машины и рабочие органы для внесения жидких удобрений в почву // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства : материалы международной

научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 20–21 марта 2025 года. Йошкар-Ола : Марийский государственный университет, 2025. С. 806–810. EDN NEOLDO.

5. Францкевич В. С., Гребенчук П. С., Минченко П. А. Исследование центробежных форсунок шликерного атоизатора // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2022. № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-tsentrobeznyh-forsunok-shlikernogo-atomizatora> (дата обращения: 27.08.2026).

6. Экспериментальное обоснование параметров форсунки-распылителя для агропромышленного комплекса / Д. М. Юмаев, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14, № 4. С. 193–200. DOI: 10.36508/RSATU.2022.10.18.025. EDN TZCHSB.

References

1. Kalabushev AN. Obzor vozmozhnykh forsunok dlya vneseniya zhidkikh udobreniy sovmestno s posevom = Review of possible nozzles for applying liquid fertilizers together with sowing. In: Resursosberegayushchiye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva dlya proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva: sbornik statey VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Resource-saving technologies and technical means for crop and livestock production: collection of articles of the VII international scientific and practical conference. Penza, February 14–15, 2022. Penza: Penzenskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet; 2022. P. 43–46. EDN FGIMWR. (In Russ.).
2. Lavrov VI, Kirdishchev DV. Technical diagnostics of fuel injectors on benches in repair workshops. Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2016;(5):65–68. EDN WVQLQX. (In Russ.).
3. Baibulatov TS, Sudzerovskaya EA, Islamov MG, et al. Justification and results of research into the technology of intrasoil application of liquid organic fertilizers. Problemy razvitiya APK regiona. 2018;(1):109–113. EDN YTHUDU. (In Russ.).
4. Sidorov OO, Shabalin RA. Sushchestvuyushchiye mashiny i rabochiye organy dlya vneseniya zhidkikh udobreniy v pochvu = Existing machines and working parts for applying liquid fertilizers to the soil. In: Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Current issues in improving the technology of production and processing of agricultural products: materials of the international scientific and practical conference, Yoshkar-Ola, March 20–21, 2025. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvennyy universitet; 2025. P. 806–810. EDN NEOLDO. (In Russ.).
5. Frantskevich VS, Grebenchuk PS, Minchenko PA. Investigation of centrifugal nozzles of a slurry atomizer. Vestnik BGTU imeni V. G. Shukhova. 2022;(9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-tsentrobeznyh-forsunok-shlikernogo-atomizatora>. [Accessed August 27 2026]. (In Russ.).
6. Yumaev DM, Rembalovich GK, Kostenko MYu, et al. Experimental substantiation of the parameters of a spray nozzle for the agro-industrial complex. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva. 2022;14(4):193–200. DOI: 10.36508/RSATU.2022.10.18.025. EDN TZCHSB. (In Russ.).

Информация об авторах

Сидоров Олег Олегович, аспирант кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», ул. Машиностроителей, д. 15, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 424020
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9829-4368>
e-mail: oleg.sidorov23@yandex.ru

Юнусов Губейдулла Сибятуллович, доктор технических наук, профессор кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», ул. Машиностроителей, д. 15, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 424020
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>
e-mail: 270144@mail.ru

Information about the authors

Sidorov Oleg Olegovich, postgraduate student at the department of Agroengineering and Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Mari State University, 15 Mashinostroiteley Street, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424020, the Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9829-4368>
e-mail: oleg.sidorov23@yandex.ru

Yunusov Gubeidulla Sibyatulloovich, doctor of technical sciences, professor at the department of Agroengineering and Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Mari State University, 15, Mashinostroiteley Street, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424020, the Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>
e-mail: 270144@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received	07.08.2026
одобрена после рецензирования / approved after reviewing	18.08.2026
принята к публикации / accepted for publication	28.08.2026

Научная статья
УДК 631.3.001.2 ; 631.333
DOI 10.66783/2782-3172.2026.38.85.011

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДОБРЕНИЙ С УЧЁТОМ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АГРЕГАТА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Олег Олегович Сидоров (ORCID: 0009-0003-9829-4368), Губейдулла Сибятуллович Юнусов
(ORCID: 0000-0003-2127-6439)

Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия

Автор, ответственный за переписку: Олег Олегович Сидоров, oleg.sidorov23@yandex.ru

Аннотация

В работе представлены результаты математического моделирования процесса внесения минеральных удобрений с использованием малогабаритной сельскохозяйственной техники. Исследовано влияние скорости движения агрегата и частоты вращения центробежного распределительного диска на кинематические параметры частиц удобрений, дозу внесения и равномерность распределения. На основе дифференциальных уравнений относительного движения частицы по лопатке вращающегося диска получены аналитические зависимости координаты и скорости от времени. Установлены функциональные связи между дозой внесения, частотой вращения и скоростью движения, позволяющие корректировать режимы работы в реальном времени. Определены оптимальные диапазоны параметров, обеспечивающие минимальный коэффициент вариации распределения ($\leq 15\%$). Результаты моделирования верифицированы экспериментальными данными и могут быть использованы при разработке адаптивных систем управления технологическими процессами точного земледелия.

Ключевые слова: математическое моделирование, внесение удобрений, центробежный диск, равномерность распределения, скорость движения, частота вращения, кинематика частицы, малогабаритная техника

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет средств авторов

Для цитирования: Сидоров О. О., Юнусов Г. С. Математическое моделирование процесса распределения удобрений с учётом скорости движения агрегата и частоты вращения рабочих органов // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 106–113. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.38.85.011.

MATHEMATICAL MODELING OF THE FERTILIZER DISTRIBUTION PROCESS, TAKING INTO ACCOUNT THE MOVEMENT SPEED OF THE UNIT AND THE ROTATION FREQUENCY OF THE WORKING PARTS

Oleg O. Sidorov (ORCID: 0009-0003-9829-4368), Gubeidulla S. Yunusov (ORCID: 0000-0003-2127-6439)
Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

Corresponding author: Oleg O. Sidorov, oleg.sidorov23@yandex.ru

Abstract

The paper presents the results of mathematical modeling of the process of applying mineral fertilizers using small-sized agricultural machinery. The influence of the unit's movement speed and the rotation frequency of the centrifugal distribution disc on the kinematic parameters of fertilizer particles, the application rate, and the uniformity of distribution has been studied. Based on the differential equations of the relative motion of a particle along the blade of a rotating disc, analytical dependencies of the coordinate and velocity on time have been obtained. Functional relationships between the application rate, rotation frequency, and movement speed have been established, making it possible to adjust operating modes in real time. The optimal ranges of parameters have been determined, ensuring a minimum coefficient of variation of the distribution ($\leq 15\%$). The simulation results have been verified with experimental data and can be used in the development of adaptive control systems for technological processes in precision agriculture.

Keywords: mathematical modeling, fertilization, centrifugal disk, uniform distribution, movement speed, rotation frequency, particle kinematics, small-sized equipment

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Sidorov OO, Yunusov GS. Mathematical modeling of the fertilizer distribution process, taking into account the movement speed of the unit and the rotation frequency of the working parts. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):106–113. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.38.85.011. (In Russ.).

Введение. Эффективность применения минеральных удобрений в значительной степени определяется качеством их распределения по поверхности или в объёме почвы. Одним из ключевых факторов, влияющих на этот процесс, является соответствие режимов работы распределительного оборудования конкретным условиям эксплуатации [1, 2]. Для малогабаритной техники, которая часто используется на сложных рельефах и небольших делянках, эта проблема стоит особенно остро, так как изменение скорости движения агрегата напрямую влияет на центробежные силы, действующие на частицы, и, следовательно, на ширину захвата и плотность внесения.

Существующие подходы к настройке разбрасывателей часто основаны на эмпирических таблицах, что не позволяет оперативно реагировать на изменение скорости в процессе работы [3]. Поэтому разработка математической модели, связывающей кинематические параметры частиц с режимными характеристиками агрегата, является актуальной научно-технической задачей.

Цель настоящей работы – создание аналитической модели процесса распределения удобрений, позволяющей на основе скорости движения агрегата и частоты вращения рабочего органа прогнозировать дозу внесения и равномерность распределения, а также определять оптимальные режимы работы.

Материалы и методы. Для описания движения гранулы минерального удобрения по радиальной лопатке центробежного диска рассмотрим систему координат, вращающуюся вместе с диском с постоянной угловой скоростью ω . Ось x направлена радиально вдоль лопатки (рисунок 1) [4].

На частицу массой m в относительном движении действуют следующие силы:

- центробежная сила инерции: $\Phi_e = m\omega^2 x$;
- кориолисова сила инерции: $\Phi_c = 2m\omega \dot{x}$;
- сила трения о лопатку: $F_L = N_L f = 2m\omega x \dot{f}$;
- сила трения о диск: $F_D = N_D f = 2mg \dot{f}$.

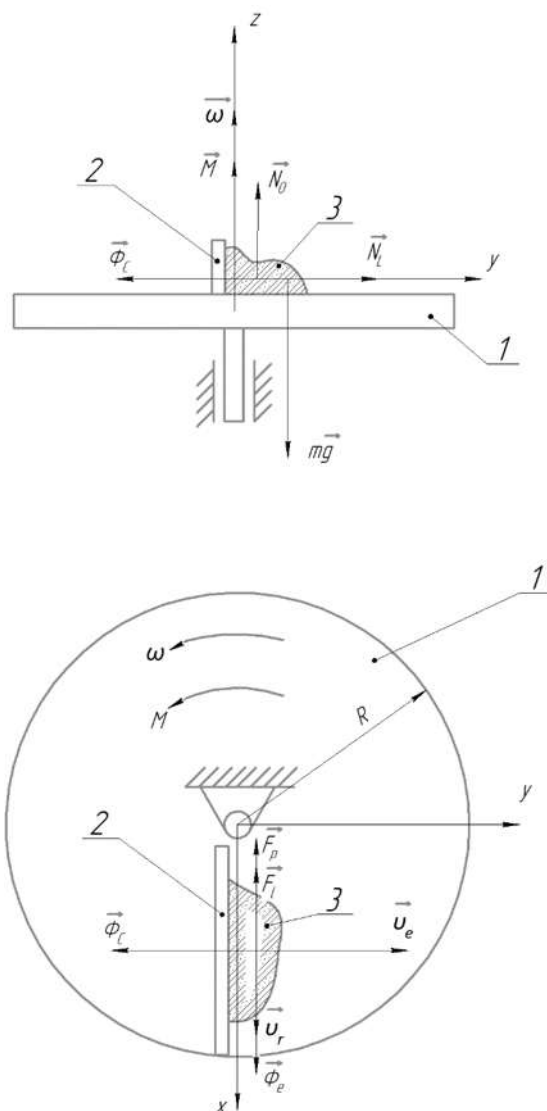


Рисунок 1. Относительное движение частицы по лопатке вращающегося диска:
1 – диск; 2 – лопатка; 3 – частица

Дифференциальное уравнение относительного движения частицы вдоль лопатки получается из второго закона Ньютона и имеет вид [3, 5]

$$\ddot{x} + 2\omega f \dot{x} - \omega^2 x = -gf, \quad (1)$$

где $\ddot{x}$ – относительное ускорение, м/с²;
 $\dot{x}$ – относительная скорость частицы, м/с;
 x – текущая радиальная координата, м;
 ω – угловая скорость диска, рад/с;
 f – коэффициент трения частицы о материал лопатки;
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Решение уравнения (1) при начальных условиях $x(0) = x_0$ (частица поступает на диск на расстоянии x_0 от центра) и $\dot{x}(0) = 0$ (начальная относительная скорость равна нулю) представляет собой сумму общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного $x(t)$:

$$x(t) = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t} + \frac{gf}{\omega^2}, \quad (2)$$

где $k_1 = -\omega f + \omega \sqrt{1 + f^2}$ и $k_2 = -\omega f - \omega \sqrt{1 + f^2}$ – корни характеристического уравнения, а постоянные C_1 и C_2 определяются из начальных условий.

Полученное решение (2) использовалось в дальнейшем для расчёта кинематических параметров частицы на сходе с диска. Для оценки равномерности распределения и дозы внесения применялись экспериментально-статистические зависимости, описанные в разделе «Результаты и обсуждение».

Результаты и обсуждение. Анализ уравнения (2) показывает, что частица движется с ускорением к периферии диска. Скорость $\dot{x}(t)$ и координата $x(t)$ монотонно возрастают со временем. Относительная скорость на сходе с диска (при $x = R$, где R – радиус диска) определяет начальные условия для баллистического полета частицы, а значит, и ширину захвата агрегата. На рисунке 2 представлены графики зависимостей координаты $x(t)$ и относительной скорости $\dot{x}(t)$, построенные для характерных значений $\omega = 62,8$ рад/с и $f = 0,5$.

Из графиков видно, что разгон частицы происходит интенсивно в первые 0,1–0,15 с после поступления на диск, что необходимо учитывать при проектировании направляющих кожухов для минимизации потерь удобрений.

Доза внесения сухих удобрений Q (кг/га) является интегральным показателем, зависящим от количества материала, подаваемого на диск, и площади, на которую он распределяется. Количество материала, сходящего с диска в единицу времени, определяется производительностью дозирующего устройства G (кг/с). Однако, если дозирующее устройство (заслонка) настроено на фиксированную подачу, то фактическая доза на единицу площади будет определяться скоростью движения агрегата v (км/ч) и эффективной шириной захвата B (м), которая, в свою очередь, зависит от частоты вращения диска.

На основе экспериментальных данных и теоретических предпосылок установлено, что доза внесения обратно пропорциональна скорости движения агрегата и прямо пропорциональна частоте вращения диска [6]:

$$Q = k \cdot \frac{n}{v}, \quad (3)$$

где $n = \frac{30\omega}{v}$ – частота вращения диска, об/мин;

k – комплексный коэффициент, учитывающий конструктивные параметры (площадь выгрузного окна, угол наклона лопаток, тип удобрений).

Физический смысл зависимости (3) заключается в том, что при увеличении скорости движения агрегата один и тот же объём удобрений распределяется по большей площади, что приводит к снижению дозы. Для компенсации этого эффекта необходимо увеличивать частоту вращения диска (и, соответственно, подачу материала). Из уравнения (3) легко получить условие для поддержания постоянной дозы $Q_{\text{зад}}$:

$$n_{\text{необх}} = \frac{Q_{\text{зад}}}{k} \cdot v. \quad (4)$$

Выражение (4) представляет собой закон управления для системы автоматического регулирования нормы внесения: при изменении скорости движения частота вращения должна изменяться пропорционально.

Помимо дозы, скорость движения существенно влияет на качество распределения, оцениваемое коэффициентом вариации C_v (%). Экспериментально установлено, что с ростом скорости возрастает неравномерность, что связано с уменьшением времени взаимодействия частиц с диском и увеличением влияния воздушных потоков.

Для учёта этого влияния предложена корректирующая формула

$$C_v(v) = C_{v0} \cdot K_v, \quad (5)$$

где C_{v0} – коэффициент вариации при эталонной скорости (например, 4 км/ч);

K_v – поправочный коэффициент, который в диапазоне скоростей 2–6 км/ч может быть аппроксимирован линейной зависимостью $K_v = 1 + 0,05(v - 4)$.

Полученные данные вносим математическую модель (рисунок 2)

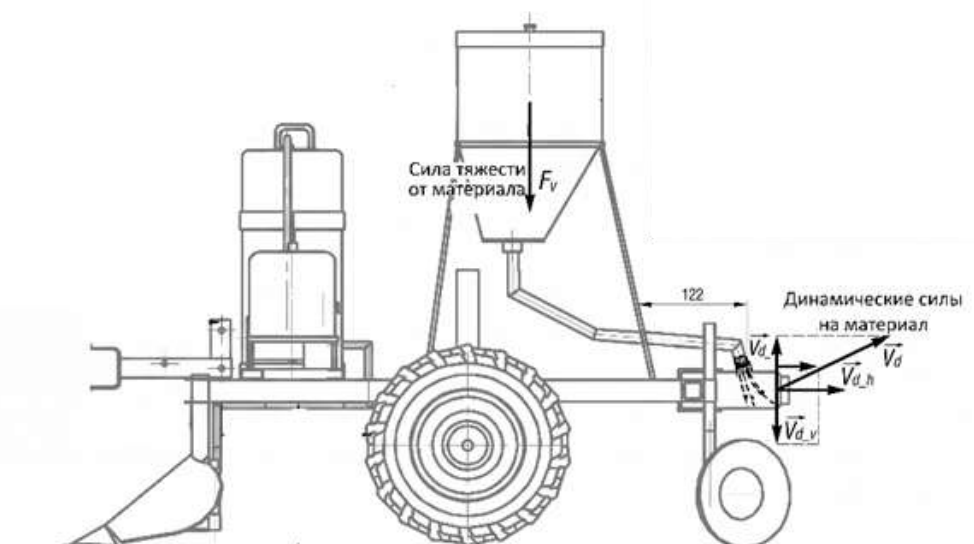


Рисунок 2. Математическая модель зависимости равномерности распределения сухих минеральных удобрений от скорости движения

Расчётные и экспериментальные значения коэффициента вариации для разных скоростей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость равномерности распределения от скорости движения

Скорость движения v , км/ч	Коэффициент вариации C_v , % (расчёт)	Коэффициент вариации C_v , % (эксперимент)
2	12,5	12–14
4	15,0	15–16
6	17,5	до 16

Полученные данные показывают, что наилучшая равномерность достигается при скоростях 2–4 км/ч. Дальнейшее увеличение скорости приводит к росту коэффициента вариации и ухудшению качества технологического процесса.

На основе разработанной модели был проведён численный эксперимент для оценки влияния частоты вращения и скорости движения на дозу внесения. Расчёт проводился для значения коэффициента $k = 0,667$, определённого для гранулированных удобрений и разработанной конструкции агрегата. Данные устанавливаем в математическую модель (рисунок 3).

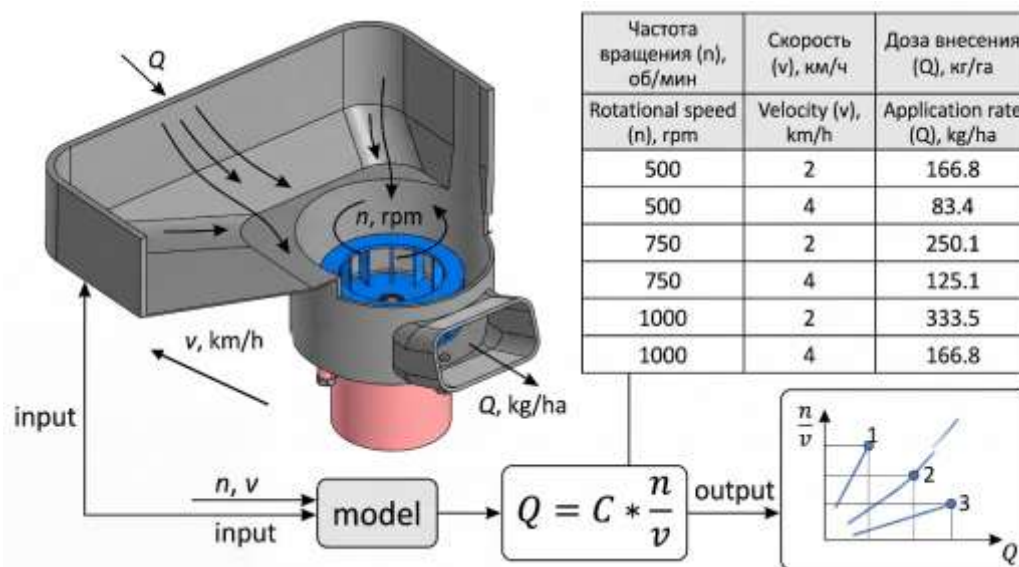


Рисунок 3. Математическая модель расчётной дозы внесения сухих минеральных удобрений при различных оборотах вращения ротора

Результаты были сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Расчётная доза внесения при различных оборотах вращения ротора

Частота вращения n, об/мин	Скорость v, км/ч	Доза внесения Q, кг/га
500	2	166,8
500	4	83,4
750	2	250,1
750	4	125,1
1000	2	333,5
1000	4	166,8

Анализ таблицы 2 показывает, что диапазон регулирования дозы очень широк. Для обеспечения наиболее распространённой дозы 100–150 кг/га оптимальными являются режимы: $n = 500$ об/мин при $v = 2–3$ км/ч или $n = 750$ об/мин при $v = 4–5$ км/ч.

Сопоставление расчётных данных по дозе с результатами полевых испытаний показало их высокую сходимость (отклонение не превышает 8–10 %), что подтверждает адекватность математической модели.

Заключение. В результате проведённых теоретических и экспериментальных исследований разработана математическая модель процесса распределения удобрений, учитывающая скорость движения агрегата и частоту вращения рабочего органа.

1. Получено аналитическое решение дифференциального уравнения относительного движения частицы по лопатке центробежного диска, позволяющее рассчитать её скорость и координату в любой момент времени, что служит основой для определения ширины захвата.

2. Установлена функциональная зависимость дозы внесения Q от частоты вращения n и скорости движения v , имеющая вид $Q = k \cdot n/v$. На основе этой зависимости предложен алгоритм управления для поддержания заданной нормы внесения.

3. Выявлено, что с увеличением скорости движения коэффициент вариации распределения возрастает. Диапазон скоростей 2–4 км/ч признан оптимальным, обеспечивающим равномерность распределения на уровне 85–88 %.

4. Адекватность модели подтверждена сравнением расчётных и экспериментальных данных, что позволяет рекомендовать её для использования при проектировании систем автоматического управления технологическими процессами внесения удобрений на малогабаритной технике.

Список источников

1. Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений и оценка их доз / А. И. Панов [и др.] // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 28–33.
2. Сидоров О. О., Шабалин Р. А. Технические средства для внесения жидких удобрений в почву малогабаритной техникой // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Йошкар-Ола : МарГУ, 2025. С. 810–813.
3. Андреев К. П. Исследование траектории полета частиц минеральных удобрений при работе центробежных разбрасывателей // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. 2016. № 117-2. С. 105–108.
4. Исследования движения частицы удобрений по лопасти ворошителя / А. В. Шемякин, К. П. Андреев, М. Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2016. № 4 (32). С. 65–68.
5. Совершенствование центробежных разбрасывателей для поверхностного внесения минеральных удобрений / К. П. Андреев, В. А. Макаров, А. В. Шемякин, М. Ю. Костенко // Вестник РГАТУ им. П.А. Костычева. 2017. № 1 (33). С. 54–59.
6. Сергеев Ю. А., Зимина О. Г. Обоснование технологии послойного посева семян зерновых культур и внесение удобрений // Сборник научных трудов. Серия: Технология и технические средства в АПК. Улан-Удэ : ВСГУТУ, 2018. Вып. 14. С. 47–52.

References

1. Panov AI, et al. Intrasoil application of liquid organic fertilizers and assessment of their doses. Agroiinzheneriya. 2023;25(2):28–33. (In Russ.).
2. Sidorov OO, Shabalin RA. Tekhnicheskiye sredstva dlya vneseniya zhidkikh udobreniy v pochvu malogabaritnoy tekhnikoy = Technical means for applying liquid fertilizers to the soil using small-sized equipment. In: Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva = Current issues in improving the technology of agricultural production and processing. Yoshkar-Ola: Mari State University; 2025. P. 810–813. (In Russ.).
3. Andreev KP. Study of the flight trajectory of mineral fertilizer particles during the centrifugal spreaders operation. Novaya nauka: Teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad. Sterlitamak. 2016;(117-2):105–108. (In Russ.).
4. Shemyakin AV, Andreev KP, Kostenko MYu, et al. Studies of the fertilizer particles movement along the agitator blade. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2016;(4):65–68. (In Russ.).
5. Andreev KP, Makarov VA, Shemyakin AV, Kostenko MYu. Improvement of centrifugal spreaders for surface application of mineral fertilizers. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2017;(1):54–59. (In Russ.).

6. Sergeev YuA, Zimina OG. Obosnovaniye tekhnologii posloynogo poseva semyan zernovykh kul'tur i vneseniye udobreniy = Justification of the technology of layer-by-layer sowing of grain crop seeds and fertilization. In: Sbornik nauchnykh trudov seriya: Tekhnologiya i tekhnicheskiye sredstva v APK = Collection of scientific papers, series: Technology and technical means in the agro-industrial complex. Issue 14. Ulan-Ude: VSGUTU; 2018. P. 47–52. (In Russ.).

Информация об авторах

Сидоров Олег Олегович, аспирант кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», ул. Машиностроителей, д. 15, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 424020

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9829-4368>

e-mail: oleg.sidorov23@yandex.ru

Юнусов Губейдулла Сибятуллович, доктор технических наук, профессор кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», ул. Машиностроителей, д. 15, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 424020

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>

e-mail: 270144@mail.ru

Information about the authors

Sidorov Oleg Olegovich, postgraduate student at the department of Agroengineering and Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Mari State University, 15 Mashinostroiteley Street, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424020, the Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9829-4368>

e-mail: oleg.sidorov23@yandex.ru

Yunusov Gubeidulla Sibyatullovich, doctor of technical sciences, professor at the department of Agroengineering and Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Mari State University, 15, Mashinostroiteley Street, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424020, the Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>

e-mail: 270144@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

07.08.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

18.08.2026

принята к публикации / accepted for publication

28.08.2026

Научная статья
УДК 631.333 ; 631.3-181.4
DOI 10.66783/2782-3172.2026.54.71.012

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО И ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ УДОБРЕНИЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ ТЕХНИКОЙ

Олег Олегович Сидоров (ORCID: 0009-0003-9829-4368), Губейдулла Сибятуллович Юнусов
(ORCID: 0000- 0003-2127-6439)

Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия

Автор, ответственный за переписку: Олег Олегович Сидоров, oleg.sidorov23@yandex.ru

Аннотация

В статье представлены результаты сравнительного анализа эффективности поверхностного и внутрипочвенного способов внесения жидких минеральных удобрений с использованием малогабаритного агрегата. Приведены математические зависимости для расчета дозы внесения, коэффициента равномерности распределения, потерь питательных веществ и энергозатрат. Установлено, что внутрипочвенное внесение обеспечивает коэффициент равномерности распределения 92–95 %, что превышает показатели поверхностного способа (84–92 %). Потери азота при внутрипочвенной заделке сокращаются до 2–3 % против 5–10 % при поверхностном внесении. Обоснованы рациональные параметры работы агрегата для каждого способа внесения исследованного типа удобрения. Показано, что распространение полученных закономерностей на другие виды жидких удобрений требует учета их физико-химических свойств.

Ключевые слова: малогабаритная техника, жидкие удобрения, поверхностное внесение, внутрипочвенное внесение, равномерность распределения, потери азота, КАС-32

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет средств авторов

Для цитирования: Сидоров О. О., Юнусов Г. С. Сравнительный анализ эффективности поверхностного и внутрипочвенного внесения жидких удобрений малогабаритной техникой // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 113–125. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.54.71.012.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SURFACE AND INTRASOIL APPLICATION OF LIQUID FERTILIZERS EFFECTIVENESS USING SMALL-SIZED EQUIPMENT

Oleg O. Sidorov (ORCID: 0009-0003-9829-4368), Gubeidulla S. Yunusov (ORCID: 0000- 0003-2127-6439)
Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

Corresponding author: Oleg Olegovich Sidorov, oleg.sidorov23@yandex.ru

Abstract

The article presents the results of the comparative analysis of the surface and intrasoil application of liquid mineral fertilizers effectiveness using a small-sized unit. Mathematical dependencies are provided for calculating the application dose, uniformity coefficient, nutrient losses, and energy consumption. It has been established that intrasoil application ensures the uniformity

coefficient of 92–95%, which exceeds the indicators for the surface method (84–92%). Nitrogen losses during intrasoil incorporation are reduced to 2–3%, compared to 5–10% in case of the surface application. The rational operating parameters of the unit for each application method of the studied fertilizer type have been substantiated. It is shown that the extension of the obtained regularities to other types of liquid fertilizers requires consideration of their physicochemical properties.

Keywords: small-sized equipment, liquid fertilizers, surface application, intrasoil application, uniformity of distribution, nitrogen losses, KAS-32

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Sidorov OO, Yunusov GS. Comparative analysis of the surface and intrasoil application of liquid fertilizers effectiveness using small-sized equipment. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):113–125. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.54.71.012. (In Russ.).

Введение. В современных условиях развития малых форм хозяйствования особую актуальность приобретает применение малогабаритной техники для внесения жидких минеральных удобрений. Среди существующих способов внесения жидких удобрений выделяют две основные группы: поверхностное и внутрипочвенное [1, 2]. Каждый из этих способов имеет свои технологические особенности, преимущества и ограничения, что требует комплексного сравнительного анализа для обоснования выбора оптимального метода в конкретных производственных условиях.

Поверхностное внесение жидких минеральных удобрений выполняется с помощью штанговых опрыскивателей или шланговых систем и отличается высокой производительностью. Однако, как отмечают Назаров Н. Н. и Некрасова И. В., неравномерность распределения рабочей жидкости при данном способе, выраженная коэффициентом вариации, может достигать 20 % и более, что снижает эффективность применяемых азотных удобрений до 45–50 %, фосфорных – до 15–20 % [3, 4].

Внутрипочвенное внесение признаётся более рациональным и экологически безопасным способом. При его использовании отклонение фактической дозы от заданной не превышает ± 10 %, а неравномерность внесения остается в пределах 10–15 % [5]. В работах Буксмана В. З. и Милюткина В. А. показано, что внутрипочвенное внесение удобрений под подсолнечник обеспечило прибавку урожайности на 7,8–15,9 % по сравнению с поверхностно-разбросным способом [6].

Цель исследования – провести сравнительный анализ эффективности поверхностного и внутрипочвенного способов внесения жидких минеральных удобрений с использованием малогабаритной техники по таким критериям, как равномерность распределения, потери питательных веществ, глубина проникновения удобрений и энергозатраты на примере жидкого азотного удобрения КАС-32.

Материалы и методы. Объектом исследования являлся малогабаритный агрегат (рисунок 1) для внесения жидких минеральных удобрений, агрегатируемый с мотоблоком. Конструкция агрегата включает расширительный бачок с системой подачи жидких удобрений, насос, распределительную штангу с форсунками, а также плунжерные окучники для внутрипочвенного внесения и дисковые окучники для заделки борозд.

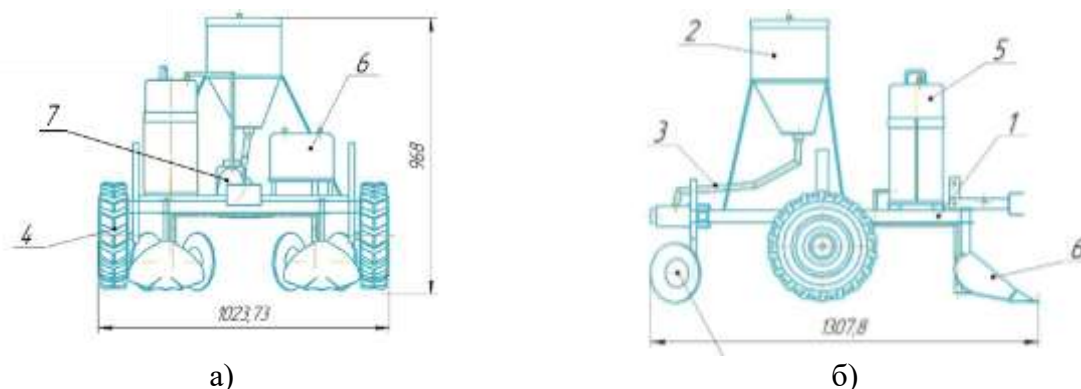


Рисунок 1. Малогабаритный агрегат для внесения жидких минеральных удобрений:

- а) вид спереди; б) вид сбоку;
1 – рама; 2 – бункер сухих удобрений; 3 – трубопровод; 4 – опорное колесо;
5 – расширительный бак; 6 – плунжерный окучник; 7 – компрессор;
8 – дисковый окучник; 9 – разбрасыватель

Опыты проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (рисунок 2). Влажность почвы поддерживали на уровне 18–22 %. В качестве жидкого удобрения использовали раствор КАС-32. Выбор данного типа удобрения обусловлен его широким распространением в сельскохозяйственном производстве и высокой летучестью азота, что позволяет наиболее наглядно оценить преимущества внутрипочвенного внесения по критерию снижения потерь питательных веществ. Однако следует учитывать, что полученные количественные показатели (потери азота, равномерность распределения) могут варьировать при использовании других видов жидких удобрений (например, суспензий, фосфорных или комплексных удобрений) из-за различий в плотности, вязкости и размерах твердых частиц, что требует проведения отдельных исследований.



Рисунок 2. Малогабаритный агрегат для внесения жидких минеральных удобрений на испытании

Исследовали следующие варьируемые параметры для обоих способов внесения:

- давление в расширительном баке ($P = 0,2; 0,4; 0,6$ МПа);
- производительность насоса ($Q = 20; 30; 40$ л/мин);
- скорость движения агрегата ($v = 2; 4; 6$ км/ч).

Оценку качества внесения проводили методом контрольных площадок в соответствии с ГОСТ 28714-2007 [7].

При поверхностном внесении жидкие удобрения распределяются по поверхности почвы с помощью штангового опрыскивателя. Технологическая схема поверхностного внесения включает следующие этапы.

- 1) *Подготовка рабочего раствора.* В расширительный бачок заливается расчетное количество жидкого удобрения КАС-32 и при необходимости разбавляется водой до требуемой концентрации. Перемешивание раствора осуществляется за счёт циркуляции через насос.
- 2) *Создание рабочего давления.* Диафрагменный насос, приводимый в действие от вала отбора мощности мотоблока или автономного электродвигателя, создаёт в системе заданное давление (регулируется в диапазоне 0,2–0,6 МПа). Давление контролируется по манометру, установленному в магистрали.
- 3) *Подача раствора к форсункам.* Под давлением рабочий раствор по трубопроводам поступает к распылительным форсункам, установленным на телескопической штанге. Штанга может регулироваться по высоте (от 0,3 до 1,0 м над поверхностью почвы) и ширине захвата (от 0,8 до 2,0 м) в зависимости от обрабатываемой культуры и рельефа участка.
- 4) *Распыление на поверхность* (рисунок 3). Через форсунки раствор диспергируется в виде мелкодисперсного факела с размером капель 150–250 мкм и равномерно распределяется по поверхности почвы. Рабочая ширина захвата при поверхностном внесении составляет $B = 0,7–1,6$ м в зависимости от количества установленных форсунок и расстояния между ними.



Рисунок 3. Процесс внесения жидких минеральных удобрений поверхностным способом

Конструктивной особенностью поверхностного внесения является применение штанги с независимой регулировкой каждой секции, что позволяет адаптироваться к рельефу поля и минимизировать перекрытие факелов распыла.

При внутрипочвенном внесении жидкие удобрения заделываются непосредственно в корнеобитаемый слой почвы на заданную глубину. Для реализации данного способа агрегат оснащается плунжерными окучниками со встроенными форсунками и дисковыми окучниками для заделки борозд. Технологическая схема внутрипочвенного внесения включает следующие этапы.

- 1) *Подготовка рабочего раствора и создание давления.* Осуществляется аналогично поверхностному способу, но при внутрипочвенном внесении требуется более

стабильное давление для преодоления сопротивления почвы при впрыске (рекомендуемый диапазон 0,3–0,5 МПа).

- 2) *Формирование борозды.* Плунжерный окучник, представляющий собой стрельчатый рабочий орган (двустороннюю лапу) с шириной захвата 8–12 см, при движении агрегата заглубляется в почву на заданную глубину (регулируется в диапазоне 6–10 см) и формирует борозду с ровным дном. Угол атаки окучника составляет 15–20°, что обеспечивает минимальное сопротивление и качественное рыхление стенок борозды.
- 3) *Впрыск удобрения в борозду* (рисунок 4). Непосредственно за плунжерным окучником, в нижней части сформированной борозды, расположена форсунка (встроенная в стойку окучника), через которую под давлением подаётся жидкое удобрение. Форсунка имеет направленный вниз факел распыла, что обеспечивает локализацию удобрения на дне борозды. Важной конструктивной особенностью является защита форсунки от забивания почвой: она установлена заподлицо с задней стенкой окучника и имеет обратный клапан, предотвращающий обратный ток раствора и попадание почвы.



Рисунок 4. Процесс внесения жидких минеральных удобрений внутрипочвенным способом

- 4) *Заделка борозды* (рисунок 5). Следом за плунжерным окучником на расстоянии 15–20 см устанавливаются дисковые окучники, которые засыпают борозду почвой. Диски имеют угол атаки 25°–30° и закреплены на раме с возможностью регулировки глубины и угла. Заделка борозды обеспечивает герметизацию внесённого удобрения в почве, предотвращая его испарение и контакт с атмосферным воздухом.

Глубина заделки удобрений контролируется заглублением плунжерного окучника и регулируется изменением положения опорных колёс или глубиной хода мотоблока. Допустимое отклонение глубины заделки составляет $\pm 1,5$ см, что соответствует агротехническим требованиям [10].



Рисунок 5. Заделка борозды с помощью дисковых окучников

Принципиальное отличие внутрипочвенного способа от поверхностного заключается в том, что рабочая жидкость подаётся не на поверхность почвы, а непосредственно в борозду на заданной глубине, после чего борозда засыпается, что обеспечивает размещение питательных веществ в зоне активной корневой системы растений.

Математические зависимости для расчета показателей эффективности.

1. Расчет дозы внесения жидких удобрений.

Доза внесения жидких удобрений (D , кг/га) определяется производительностью насоса, концентрацией рабочего раствора, скоростью движения агрегата и шириной захвата [8]:

$$D = \frac{Q \cdot C \cdot 10}{v \cdot B}, \quad (1)$$

где Q – производительность насоса, л/мин;

C – концентрация действующего вещества в растворе, кг/л;

v – скорость движения агрегата, км/ч;

B – ширина захвата, м;

коэффициент 10 – для перевода единиц измерения в кг/га.

При $P = 0,4$ МПа, $Q = 30$ л/мин, $C = 0,2$ кг/л, $v = 4$ км/ч, $B = 0,7$ м

$$D = \frac{30 \cdot 0,2 \cdot 10}{4 \cdot 0,7} = \frac{60}{2,8} \approx 21,43 \frac{\text{кг}}{\text{га}}$$

2. Оценка равномерности распределения.

Коэффициент равномерности распределения ($K_{\text{равн}}$, %) рассчитывается на основе данных, полученных с контрольных площадок [9]:

$$K_{\text{равн}} = \left(1 - \frac{\sigma}{\bar{x}}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где σ – стандартное отклонение доз внесения на контрольных площадках, кг/га;

$\bar{x}$ – средняя доза внесения по всем контрольным площадкам, кг/га.

Стандартное отклонение определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

где n – количество контрольных площадок, шт.;
 x_i – доза внесения на i -й площадке, кг/га.

Коэффициент вариации (V , %) рассчитывается как

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

при этом $K_{\text{равн}} = 100 - V$.

3. Потери питательных веществ.

Потери азота (L , %) при внесении жидких удобрений определяются балансовым методом [10]:

$$L = \frac{D_{\text{вн}} - D_{\text{п}}}{D_{\text{вн}}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $D_{\text{вн}}$ – доза внесенного удобрения, кг/га;

$D_{\text{п}}$ – количество питательного элемента, обнаруженное в почвенном профиле через заданный период, кг/га.

Зависимость потерь азота от глубины заделки описывается экспоненциальной функцией

$$L = L_0 \cdot e^{-k \cdot (H - H_{\min})}, \quad (6)$$

где L_0 – базовые потери при минимальной глубине заделки ($H_{\min} = 6$ см), %;

H – текущая глубина заделки, см;

k – коэффициент затухания потерь (экспериментально $k = 0,15$).

При поверхностном внесении ($H = 0$ см) базовые потери составляют 10 %, при внутрипочвенном внесении ($H = 6$ см)

$$L = 10 \cdot e^{-0,15 \cdot (6-0)} = 10 \cdot e^{-0,9} \approx 10 \cdot 0,406 = 4,06 \, \%.$$

При глубине заделки $H = 8$ см

$$L = 10 \cdot e^{-0,15 \cdot (8-0)} = 10 \cdot e^{-1,2} \approx 10 \cdot 0,301 = 3,01 \, \%.$$

4. Эффективность заделки удобрений.

Эффективность заделки ($E_{\text{задел}}$, %) показывает, какая доля внесенного удобрения остается в целевом корнеобитаемом слое [11]:

$$E_{\text{задел}} = \frac{C_{5-10}}{C_{0-10}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где C_{5-10} – содержание элемента питания в слое почвы 5–10 см, %;

C_{0-10} – общее содержание элемента в слое 0–10 см, %.

5. Энергозатраты на внесение.

Удельные энергозатраты ($E_{га}$, кВт·ч/га) рассчитываются по формуле

$$E_{га} = \frac{P_{нас} \cdot t}{S_{обр}} \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

где $P_{нас}$ – мощность насоса, Вт;
 t – время работы агрегата, ч;
 $S_{обр}$ – обработанная площадь, га.

Мощность насоса определяется как

$$P_{нас} = Q \cdot \Delta P / \eta, \quad (9)$$

где ΔP – перепад давления в системе, Па;
 η – коэффициент полезного действия насоса (принимается $\eta = 0,75$).

Результаты и обсуждение. При поверхностном внесении жидких удобрений коэффициент равномерности распределения варьировал в диапазоне 84–92 % в зависимости от давления в системе и скорости движения агрегата (таблица 1). Наилучшие показатели равномерности (92 %) были достигнуты при давлении 0,4 МПа и скорости движения 4 км/ч. Однако даже в оптимальном режиме наблюдались зоны перекрытия факелов распыла, где доза внесения превышала среднюю на 15–20 %, что согласуется с данными Назарова Н. Н. о формировании высококонцентрированных полос [3, 8].

При внутрипочвенном внесении коэффициент равномерности распределения достигал 92–95 % во всех исследованных режимах работы. Это объясняется тем, что внесение удобрений непосредственно в борозду, формируемую плунжерным окучником, обеспечивает более точное дозирование и локализацию питательных веществ в заданном слое почвы.

Таблица 1. Сравнительная оценка равномерности распределения жидких удобрений

Способ внесения	Давление P , МПа	Скорость v , км/ч	$K_{равн}$, %	Коэффициент вариации, %
Поверхностный	0,3	4	85	15
Поверхностный	0,4	4	92	8
Поверхностный	0,5	4	93	7
Внутрипочвенный	0,3	4	92	8
Внутрипочвенный	0,4	4	95	5
Внутрипочвенный	0,5	4	95	5

Одним из ключевых преимуществ внутрипочвенного внесения является значительное снижение потерь азота. При поверхностном внесении потери азота, обусловленные аммонификацией и улетучиванием аммиака, составляли 5–10 % от внесенного количества. Как отмечается в исследованиях, при повышенных температурах эффективность КАСов снижается, а потери азота при поверхностном внесении мочевины без заделки могут составлять 40 % и более [12].

Внутрипочвенное внесение позволило снизить потери азота до 2–3 % благодаря размещению удобрения в корнеобитаемом слое на глубине 6–8 см, что исключает контакт с атмосферным воздухом и предотвращает поверхностный сток. Расчет по формуле (6) показывает, что при глубине заделки 6 см потери снижаются до 4,06 %, а при глубине 8 см – до 3,01 %.

Анализ содержания азота в почвенном профиле через 14 дней после внесения показал, что при поверхностном способе до 40 % азота обнаруживалось в верхнем слое 0–5 см, тогда как при внутрипочвенном внесении 85–90 % азота оставалось в слое 5–10 см, что подтверждает более высокую эффективность заделки. Эффективность заделки,

рассчитанная по формуле (7), для поверхностного способа составила 22–25 %, для внутрипочвенного – 85–90 %.

Глубина проникновения удобрений в почву при поверхностном внесении ограничивалась верхним слоем 0–3 см, что делало питательные вещества уязвимыми для испарения и вымывания. При обильных осадках удобрения могли вымываться в более глубокие слои, но уже за пределами активной корневой системы.

Внутрипочвенное внесение с использованием плунжерных окучников обеспечивало заделку удобрений на глубину 6–8 см с допустимыми отклонениями $\pm 1,5$ см, что соответствует агротехническим требованиям [5].

Сравнительный анализ энергозатрат показал, что внутрипочвенное внесение требует несколько больших энергетических затрат 1,0–1,3 кВт·ч/га по сравнению с поверхностным способом 0,8–1,0 кВт·ч/га из-за необходимости формирования борозды. Расчет по формуле (6) при мощности насоса 1,2 кВт, времени работы 0,5 ч и обработанной площади 0,6 га дает

$$E_{\text{га}} = \frac{1200 \cdot 0,5}{0,6} \cdot 10^{-3} = 1,0 \text{ кВт} \cdot \text{ч/га}.$$

Производительность при поверхностном внесении выше 13,0 га/смену, чем 11,5 га/смену при внутрипочвенном, но при внутрипочвенном способе качество внесения удобрения выше и ниже потери питательных элементов с внесенного удобрения.

Полученные результаты справедливы для водного раствора КАС-32, характеризующегося относительно невысокой вязкостью и гомогенностью. При переходе к другим видам жидких удобрений, в частности к суспензионным удобрениям или препаратам с повышенной вязкостью, эффективность работы плунжерного окучника и форсунок может измениться. Ожидается, что для более вязких составов потребуются корректировка давления в системе (формула 9) для обеспечения стабильного факела распыла, а для суспензий – дополнительный контроль за забиваемостью форсунок, что не было предметом данного исследования и открывает направления для дальнейших изысканий.

Заключение. Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Внутрипочвенное внесение жидкого азотного удобрения КАС-32 обеспечивает более высокую равномерность распределения (92–95 %) по сравнению с поверхностным способом (84–92 %), что соответствует агротехническим требованиям (неравномерность не более 15 %).

2. Потери азота при внутрипочвенной заделке КАС-32 сокращаются до 2–3 % против 5–10 % при поверхностном внесении, что связано с исключением контакта удобрений с атмосферой и предотвращением поверхностного стока. Экспоненциальная зависимость потерь от глубины заделки описывается формулой $L = L_0 \cdot e^{-k \cdot (H - H_{\min})}$.

3. Оптимальными параметрами работы агрегата для внутрипочвенного внесения исследованного удобрения являются: давление 0,4 МПа, производительность насоса 30 л/мин, скорость движения 4 км/ч, глубина заделки 6–8 см.

4. Для поверхностного внесения КАС-32 обоснован шаг расстановки распылителей 0,5–0,75 м при давлении 0,2–0,3 МПа, что позволяет снизить неравномерность распределения до 7 % при использовании разноуровневой установки распылителей [3].

5. Применение представленных математических зависимостей позволяет оперативно рассчитывать дозу внесения, равномерность распределения, потери питательных веществ и энергозатраты для азотного удобрения КАС-32. Полученные закономерности могут служить основой для выбора оптимального способа внесения для данного типа удобрений. Для распространения выводов на другие жидкие удобрения (фосфорные, калийные, суспензионные) требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований с учетом их физико-химических свойств, что определяет перспективу дальнейших научных работ.

Список источников

1. Бутенина А. А., Чекалин В. В. Анализ устройств для внесения жидких удобрений в почву // Проблемы внедрения результатов инновационных разработок : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Оренбург, 13 февраля 2019 года. Оренбург : ООО «Агентство международных исследований», 2019. С. 178–180. EDN VTZYBE.
2. Сидоров О. О., Шабалин Р. А. Технические средства для внесения жидких удобрений в почву малогабаритной техникой // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства : материалы международной научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 20–21 марта 2025 года. Йошкар-Ола : Марийский государственный университет, 2025. С. 810–813. EDN UIXCNQ.
3. Назаров Н. Н., Некрасова И. В. Качество распределения жидких форм минеральных удобрений по обрабатываемой поверхности // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55, № 5 (318). С. 106–114. DOI: 10.26898/0370-8799-2025-5-10. EDN OWUVRH.
4. Раднаев Д. Н., Зимина О. Г. Обоснование рациональных параметров сошника для посева зерновых культур с внесением удобрений ниже уровня семян // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 3 (59). С. 106–115. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-3-106-115. EDN UYLWOY.
5. Сравнительная оценка различных видов удобрений и способов их применения при выращивании бахчевых культур в условиях волгоградского заволжья / Т. Г. Колебошина, С. Д. Фомин, Н. Б. Рябчикова, О. Г. Вербитская // Известия НВ АУК. 2020. № 3 (59). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-otsenka-razlichnyh-vidov-udobreniy-i-sposobov-ih-primeneniya-pri-vyraschivanii-bahchevyh-kultur-v-usloviyah> (дата обращения: 27.08.2026).
6. Совершенствование конструкции рабочих органов и агрегатов для внутрипочвенного внесения минеральных удобрений / В. Э. Буксман, В. А. Милюткин, А. А. Перфилов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (70). С. 127–130. EDN XNAHEL.
7. ГОСТ 28714-2007. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2008. 44 с.
8. Лютый А. В., Марченко В. О., Подольская Е. Е. Метод аппроксимации данных результатов испытаний разбрасывателей минеральных удобрений // Наука и Образование. 2020. Т. 3, № 4. С. 54. EDN XDNLEZ.
9. Скорляков В. И., Лютый А. В. Ресурсосберегающий метод оценки качества работы центробежных разбрасывателей минеральных удобрений // Техника и оборудование для села. 2020. № 1 (271). С. 18–22. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-1-18-22. EDN FINLRB.
10. Жешко А. А. Критерий оценки потерь от неравномерного внесения удобрений // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомственный тематический сборник. Минск : РУП «Издательский дом «Белорусская наука», 2025. С. 174–180. EDN VCHKEG.
11. Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений и оценка их доз / А. И. Панов, Н. В. Алдошин, А. А. Манохина, В. В. Семин // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 28–33. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-28-33. EDN KDAHAI.
12. Азот в осенних полях // АПК Эксперт. 21 октября 2020. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/azot-v-osennikh-polyakh/> (дата обращения: 27.08.2026).

References

1. Butenina AA, Chekalin VV. Analiz ustroystv dlya vneseniya zhidkikh udobreniy v pochvu = Analysis of devices for applying liquid fertilizers to the soil. In: Problemy vnedreniya rezul'tatov innovatsionnykh razrabotok: sbornik statey po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Problems of implementing the results of innovative developments: a collection

- of articles based on the results of the international scientific and practical conference. Orenburg, February 13, 2019. Orenburg: Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy Publishing; 2019. P. 178–180. EDN VTZYBE. (In Russ.).
2. Sidorov OO, Shabalin RA. Tekhnicheskiye sredstva dlya vneseniya zhidkikh udobreniy v pochvu malogabaritnoy tekhnikoy = Technical means for applying liquid fertilizers to the soil using small-sized equipment. In: Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Current issues in improving the technology of production and processing of agricultural products: materials of the international scientific and practical conference. Yoshkar-Ola, March 20–21, 2025. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvennyy universitet, 2025. P. 810–813. EDN UIXCNQ. (In Russ.).
 3. Nazarov NN, Nekrasova IV. The quality of distributing liquid forms of mineral fertilizers over the treated surface. Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki. 2025;55(5):106–114. DOI: 10.26898/0370-8799-2025-5-10. EDN OWUVRH. (In Russ.).
 4. Radnaev DN, Zimina OG. Justification of rational parameters of the coulter for sowing grain crops with fertilizer application below the seed level. Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik. 2021;(3):106–115. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-3-106-115. EDN UYLWOY. (In Russ.).
 5. Koleboshina TG, Fomin SD, Ryabchikova NB, Verbitskaya OG. Comparative assessment of various types of fertilizers and their application methods when growing melon crops in Volgograd Trans-Volga region. Izvestiya NV AUK. 2020;(3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnaya-otsenka-razlichnyh-vidov-udobreniy-i-sposobov-ih-primeneniya-pri-vyrashchivanii-bahchevyh-kultur-v-usloviyah>. [Accessed August 27 2026]. (In Russ.).
 6. Buksman VE, Milyutkin VA, Perfilov AA, et al. Improving the design of working parts and units for subsoil application of mineral fertilizers. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018;(2):127–130. EDN XNAHEL. (In Russ.).
 7. GOST 28714-2007. Mashiny dlya vneseniya tverdykh mineral'nykh udobreniy. Metody ispytaniy = GOST 28714-2007. Machines for applying solid mineral fertilizers. Test Methods. Moscow: Standartinform Publishing; 2007. (In Russ.).
 8. Lyuty AV, Marchenko VO, Podolskaya EE. Method for approximating data from test results of mineral fertilizer spreaders. Nauka i Obrazovaniye. 2020;1(4):54. EDN XDNLEZ. (In Russ.).
 9. Skorlyakov VI, Lyuty AV. Resource-saving method for assessing the performance quality of centrifugal mineral fertilizer spreaders. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2020;(1):18–22. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-1-18-22. EDN FINLRB. (In Russ.).
 10. Zheshko AA. Kriteriy otsenki poter' ot neravnomernogo vneseniya udobreniy = Criterion for assessing losses from uneven fertilizer application. In: Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva: mezhvedomstvennyy tematicheskiy sbornik = Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental thematic collection. Minsk: Belarusian Science Publishing; 2025. P. 174–180. EDN VCHKEG. (In Russ.).
 11. Panov AI, Aldoshin NV, Manokhina AA, Semin VV. Assessment of the application rates of liquid manure sub-soil injection. Agroinzheneriya. 2023;25(2):28–33. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-28-33. EDN KDAHAI. (In Russ.).
 12. Nitrogen in autumn fields. APK Ekspert. October 21, 2020. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/azot-v-osennikh-polyakh/>. [Accessed August 27, 2026]. (In Russ.).

Информация об авторах

Сидоров Олег Олегович, аспирант кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», ул. Машиностроителей, д. 15, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 424020

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9829-4368>

e-mail: oleg.sidorov23@yandex.ru

Юнусов Губейдулла Сибятуллович, доктор технических наук, профессор кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», ул. Машиностроителей, д. 15, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 424020

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>

e-mail: 270144@mail.ru

Information about the authors

Sidorov Oleg Olegovich, postgraduate student at the department of Agroengineering and Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Mari State University, 15 Mashinostroiteley Street, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424020, the Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9829-4368>

e-mail: oleg.sidorov23@yandex.ru

Yunusov Gubeidulla Sibyatulloovich, doctor of technical sciences, professor at the department of Agroengineering and Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Mari State University, 15, Mashinostroiteley Street, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424020, the Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>

e-mail: 270144@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

07.08.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

17.08.2026

принята к публикации / accepted for publication

28.08.2026

Научная статья
УДК 621.67 ; 631.3:636.084
DOI 10.66783/2782-3172.2026.17.86.013

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ НА НАПОРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАСОСА

Артём Васильевич Шевченко

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия
shev_av_vgatu@mail.ru

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных параметров рабочего колеса и неподвижных лопаток насоса-смесителя на его напорно-энергетические характеристики. Определены оптимальные углы установки и число лопаток, обеспечивающие максимальные напор, КПД и минимальную потребляемую мощность.

Ключевые слова: насос, смеситель, рабочее колесо, неподвижные лопатки, напор, подача, коэффициент полезного действия, мощность

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств автора

Для цитирования: Шевченко А. В. Влияние конструктивных параметров в экспериментальной установке на напорно-энергетические показатели насоса // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 126–138. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.17.86.013.

DESIGN PARAMETERS INFLUENCE IN THE EXPERIMENTAL SETUP ON THE PRESSURE AND ENERGY PERFORMANCE OF THE PUMP

Artem V. Shevchenko

Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
shev_av_vgatu@mail.ru

Abstract

This article presents the experimental studies results examining the influence of the design parameters of the impeller and fixed blades of a mixer pump on its pressure and energy characteristics. The optimal installation angles and number of blades ensuring maximum pressure, efficiency, and minimum power consumption are determined.

Keywords: pump, mixer, impeller, fixed blades, pressure, flow rate, efficiency, power

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Shevchenko AV. Design parameters influence in the experimental setup on the pressure and energy performance of the pump. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):126–138. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.17.86.013. (In Russ.).

Введение. Исследования, направленные на улучшение технологических процессов приготовления жидких кормовых смесей, имеют большое значение для сельскохозяйственного сектора экономики России [2, 5].

Современные тенденции развития животноводческой индустрии требуют постоянного совершенствования технологий подготовки корма, позволяющего достигать максимальной производительности и минимизации затрат. Это требует тщательного анализа влияния конструктивных особенностей технологического оборудования на напорно-энергетические показатели насоса.

Таким образом, данная работа посвящена выявлению взаимозависимости конструктивных параметров оборудования и показателей эффективности производственного процесса приготовления жидких кормовых смесей, что обеспечивает научную основу для дальнейших инноваций и технического прогресса в аграрной сфере [1, 3].

Основная цель заключается в изучении влияния конструктивных параметров в экспериментальной установке горизонтального исполнения на напорно-энергетические показатели насоса.

Задачи исследования:

1. Определение оптимальных углов установки лопаток рабочего колеса β_2 и неподвижных лопаток $\beta_{нл}$ и их числа Z , обеспечивающих оптимальный напор H , наименьшую потребляемую мощность P и максимальный коэффициент полезного действия η .
2. Разработка рекомендаций по выбору оптимальных конструктивных решений для определения оптимальных напорно-энергетических показателей.
3. Проведение экспериментов и обработка полученных результатов с целью выявления наиболее значимых факторов, влияющих на производительность насоса.

Материалы и методы. Исследование конструктивных параметров заключается в определении угла установки лопаток рабочего колеса β_2 , неподвижных лопаток $\beta_{нл}$ и их количества Z на напорно-энергетические характеристики насоса (рисунок 1) [4, 6].

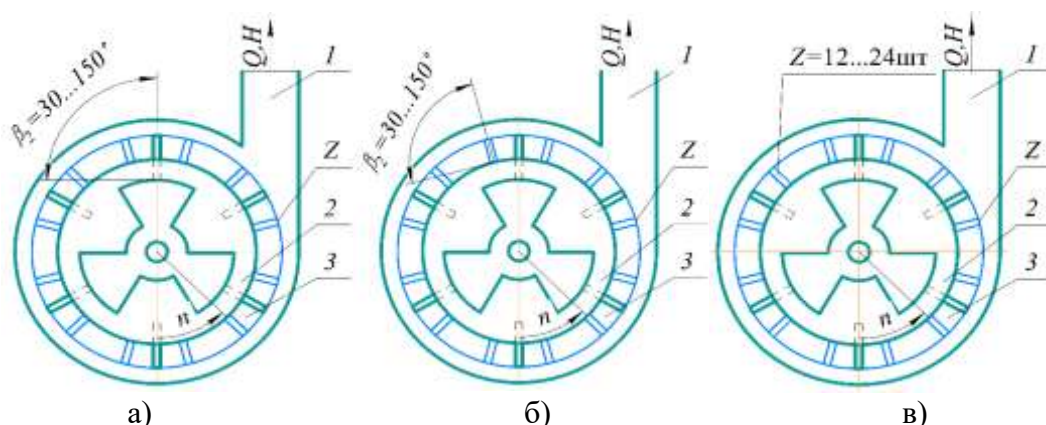


Рисунок 1. Схема установки для приготовления жидких кормовых смесей при изучении влияния изменения углов установки лопаток рабочего колеса β_2 (а), установки неподвижных лопаток $\beta_{нл}$ (б) и их числа Z (в) на напорно-энергетические характеристики насоса:

1 – напорный патрубок; 2 – рабочее колесо; 3 – диск с неподвижными лопатками

Критериями оптимизации являются максимальные и номинальные показатели, такие как напор H , потребляемая мощность P и коэффициент полезного действия η .

Результаты исследований и их обсуждение. Изучим влияние угла установки лопаток β_2 рабочего колеса на напорно-энергетические характеристики при неизменном угле неподвижных лопаток $\beta_{нл} = 90^\circ$ и их количестве $Z = 18$ шт. (рисунок 2).

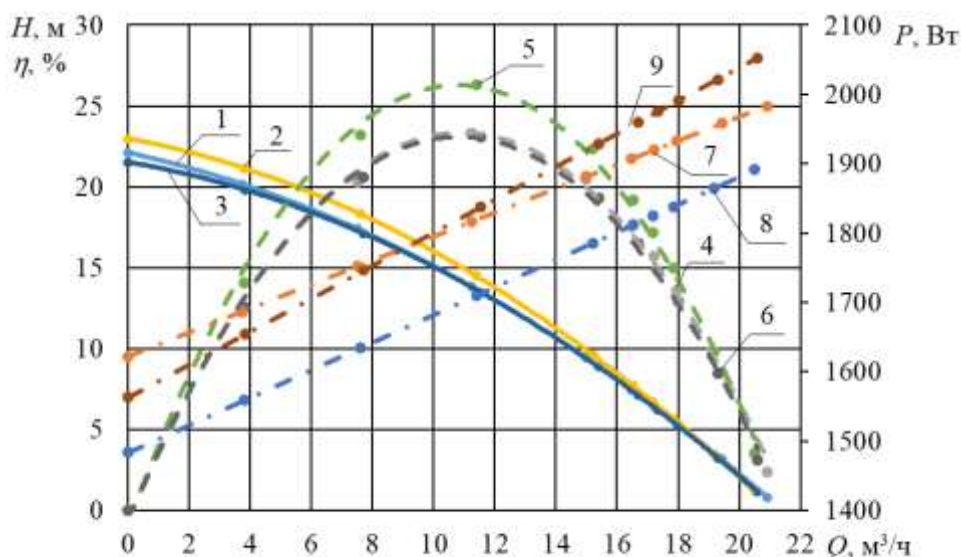


Рисунок 2. Напорно-энергетические характеристики установки при $\beta_2 = 30^\circ, 90^\circ$ и 150° , $\beta_{нл} = 90^\circ$ и $Z = 18$ шт.:

1, 2, 3 – зависимости для напора $H = f(Q)$; 4, 5, 6 – зависимости коэффициента полезного действия $\eta = f(Q)$; 7, 8, 9 – зависимости потребляемой мощности $P = f(Q)$ соответственно при $\beta_2 = 30^\circ, \beta_2 = 90^\circ$ и $\beta_2 = 150^\circ$

Представленная напорно-энергетическая характеристика (рисунок 2), показывает, что при угле установки $\beta_2 = 90^\circ$ напор будет иметь максимальное значения $H_{\max} = 22,99$ м (при $Q = 0$ м³/ч), подача $Q_{\max} = 20,50$ м³/ч. Коэффициент полезного действия достигает максимальное значение $\eta = 26,32$ %, максимальное значение потребляемой мощности будет $P_{\max} = 1,891$ кВт ($P_{\max} = 1891$ Вт), при этом номинальные показатели будут составлять соответственно при $\eta = 26,32$ %: подача $Q_n = 11,40$ м³/ч, напор $H_n = 9,64$ м и потребляемая мощность $P_n = 1,710$ кВт ($P_n = 1710$ Вт).

Линии, изображённые на рисунке 2, представляют собой кривые, или зависимости, характерные для центробежных насосов. Поэтому для возможного пересчёта характеристик, с учётом разных конструктивных параметров, представим их в виде следующих уравнений.

Напор H , коэффициент полезного действия η и потребляемая мощность P при $\beta_2 = 30^\circ$:

$$H = -0,029x^2 - 0,408x + 22,109; \quad (1)$$

$$\eta = -0,216x^2 + 4,707x - 1,567; \quad (2)$$

$$P = 17,271x + 1622,4. \quad (3)$$

Напор H , коэффициент полезного действия η и потребляемая мощность P при $\beta_2 = 90^\circ$:

$$H = -0,035x^2 - 0,347x + 22,985; \quad (4)$$

$$\eta = -0,251x^2 + 5,407x - 1,885; \quad (5)$$

$$P = 19,878x + 1483,6. \quad (6)$$

Напор H , коэффициент полезного действия η и потребляемая мощность P при $\beta_2 = 150^\circ$:

$$H = -0,033x^2 - 0,306x + 21,512; \quad (7)$$

$$\eta = -0,221x^2 + 4,790x - 1,705; \quad (8)$$

$$P = 23,683x + 1563,1. \quad (9)$$

Уравнения для напора H (1), (4) и (7) представляют собой полином второй степени, коэффициент детерминации составляет соответственно $R^2 = 0,993$, $R^2 = 0,990$ и $R^2 = 0,989$. Коэффициент Фишера составляет $F_{(1)} = 299,86$, $F_{(4)} = 200,18$ и $F_{(7)} = 182,54$, что больше табличного значения $F_{табл} = 2,52$ ($f_1 = 7$, $f_2 = 20$ и $q = 5\%$), следовательно, уравнения (1), (4) и (7) адекватно описывают процесс изменения напора H , м.

Для коэффициента полезного действия η уравнения (2), (5) и (8) представляют собой полином второй степени, коэффициент детерминации составляет соответственно $R^2 = 0,963$, $R^2 = 0,951$ и $R^2 = 0,947$. Коэффициент Фишера составляет $F_{(2)} = 52,03$, $F_{(5)} = 38,41$ и $F_{(8)} = 35,77$, что больше табличного значения $F_{табл} = 2,52$ ($f_1 = 7$, $f_2 = 20$ и $q = 5\%$), следовательно, уравнения (2), (5) и (8) адекватно описывают процесс изменения коэффициента полезного действия.

Для потребляемой мощности P уравнения (3), (6) и (9) представляют собой линейную модель, коэффициент детерминации составляет соответственно $R^2 = 0,977$, $R^2 = 0,984$ и $R^2 = 0,961$. Коэффициент Фишера составляет $F_{(3)} = 380,85$, $F_{(6)} = 470,54$ и $F_{(9)} = 184,57$, что больше табличного значения $F_{табл} = 2,45$ ($f_1 = 8$, $f_2 = 20$ и $q = 5\%$), следовательно, уравнения (3), (6) и (9) адекватно описывают процесс изменения потребляемой мощности.

Для анализа влияния угла установки рабочего колеса β_2 на максимальные (рисунок 3, а) и номинальные показатели (рисунок 3, б) приведём зависимости.

Анализ максимальных показателей (рисунок 3, а) показывает, что максимальная подача составляет $Q_{\max} = 20,90$ м³/ч и будет достигаться при угле $\beta_2 = 30^\circ$, дальнейшее его увеличение до $\beta_2 = 150^\circ$ после небольшого падения достигнет $Q_{\max} = 20,60$ м³/ч, что примерно в 1,02 раза меньше по сравнению со значением $Q_{\max} = 20,90$ м³/ч при $\beta_2 = 30^\circ$. При этом максимальный напор $H_{\max} = 22,99$ м при угле $\beta_2 = 90^\circ$, а при $\beta_2 = 30^\circ$ снизится до $H_{\max} = 22,11$ и $\beta_2 = 150^\circ$ до $H_{\max} = 21,53$ м что примерно в 1,04 и 1,02 раза меньше для угла $\beta_2 = 30^\circ$ и $\beta_2 = 150^\circ$ соответственно по сравнению со значением при $\beta_2 = 90^\circ$. Полезная максимальная мощность $P_{н. \max}$, Вт достигает максимальное значение $P_{н. \max} = 450,10$ Вт при угле $\beta_2 = 90^\circ$ и соответственно уменьшается в 1,07 раза при $\beta_2 = 30^\circ$ и $\beta_2 = 150^\circ$. Коэффициент полезного действия имеет максимальное значение $\eta = 26,32\%$ при $\beta_2 = 90^\circ$, что выше в 1,13–1,14 раза значений при $\beta_2 = 30^\circ$ и 150° .

Номинальные показатели (рисунок 3, б) отражают, что максимальное значение подачи $Q_n = 11,55$ м³/ч будет при $\beta_2 = 150^\circ$, напор будет равен $H_n = 14,49$ м при $\beta_2 = 90^\circ$.

Минимальное значение потребляемой мощности (рисунок 3, б) составит $P_n = 1710,21$ Вт при $\beta_2 = 90^\circ$, а ее рост происходит при $\beta_2 = 30^\circ$ и $\beta_2 = 150^\circ$.

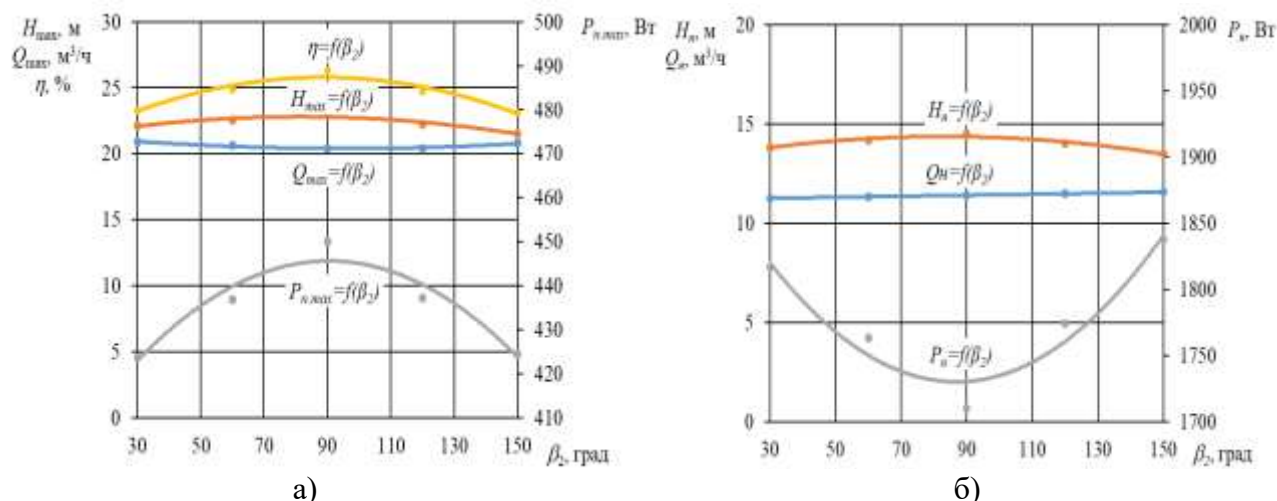


Рисунок 3. Влияние угла установки лопаток рабочего колеса β_2 на изменения:

- а) максимальных показателей подачи Q_{max} (м³/ч), напора H_{max} (м), полезной мощности $P_{n,max}$ (Вт), коэффициента полезного действия η (%);
б) номинальных показателей подачи Q_n (м³/ч), напора H_n (м) и потребляемой мощности P_n (Вт)

Полученные кривые (рисунок 3, а и б) выразим следующими зависимостями:

$$Q_{max} = 0,0001x^2 - 0,024x + 21,54; \quad (10)$$

$$H_{max} = -0,0003x^2 - 0,045x + 20,97; \quad (11)$$

$$P_{n,max} = -0,0062x^2 + 1,119x + 394,98; \quad (12)$$

$$\eta = -0,0007x^2 + 0,131x + 19,96; \quad (13)$$

$$P_n = 0,0278x^2 - 4,838x + 1940,10; \quad (14)$$

$$H_n = -0,0002x^2 + 0,033x + 12,99; \quad (15)$$

$$Q_n = 0,0025x + 11,18. \quad (16)$$

Полученные уравнения (10)–(15) представляют собой полином второй степени, коэффициенты детерминации соответственно составляют $R^2 = 0,938$, $R^2 = 0,933$, $R^2 = 0,918$, $R^2 = 0,919$, $R^2 = 0,921$ и $R^2 = 0,929$. При этом в уравнении (16) представляет собой линейную зависимость при коэффициенте детерминации $R^2 = 1$, что говорит об абсолютной значимости. Так расчётный коэффициент Фишера составляет $F_{(10)} = 5,0$, $F_{(11)} = 4,65$, и $F_{(15)} = 4,33$, что больше табличного значения $F_{табл} = 4,1$ (при $f_1 = 2$, $f_2 = 10$ и $q = 5$ %), следовательно, уравнения (10), (11) и (15) адекватно описывают процесс влияния угла установки лопаток рабочего колеса β_2 на максимальные и номинальные показатели напорно-энергетической характеристики. При этом расчетный коэффициент Фишера для уравнений (12)–(14) составит, $F_{(12)} = 3,75$, $F_{(13)} = 3,77$ и $F_{(14)} = 3,87$, что меньше табличного значения, соответственно, можно сделать вывод о неадекватности описания процесса влияния на показатели напорно-энергетической характеристики.

Таким образом, исследуя влияние угла установки β_2 на напорно-энергетическую характеристику установки для приготовления жидких кормовых смесей в горизонтальном исполнении, приходим к выводу, что максимальные показатели напора H_{max} , полезная мощность $P_{n,max}$ и коэффициент полезного действия η будут иметь наибольшее значение

при угле $\beta_2 = 90^\circ$, а подача $Q_{\max}$ при $\beta_2 = 30^\circ$. Для номинальных показателей, напор H_n достигает наибольшего значения при $\beta_2 = 90^\circ$, а подача Q_n при $\beta_2 = 150^\circ$. Наименьшее значение потребляемой мощности P_n будет достигаться в интервале $\beta_2 = 70^\circ - 110^\circ$.

Изучим влияние угла установки неподвижных лопаток $\beta_{нл}$ на напорно-энергетические характеристики при неизменном угле лопаток рабочего колеса $\beta_2 = 90^\circ$ и количестве неподвижных лопаток $Z = 18$ шт. (рисунок 4).

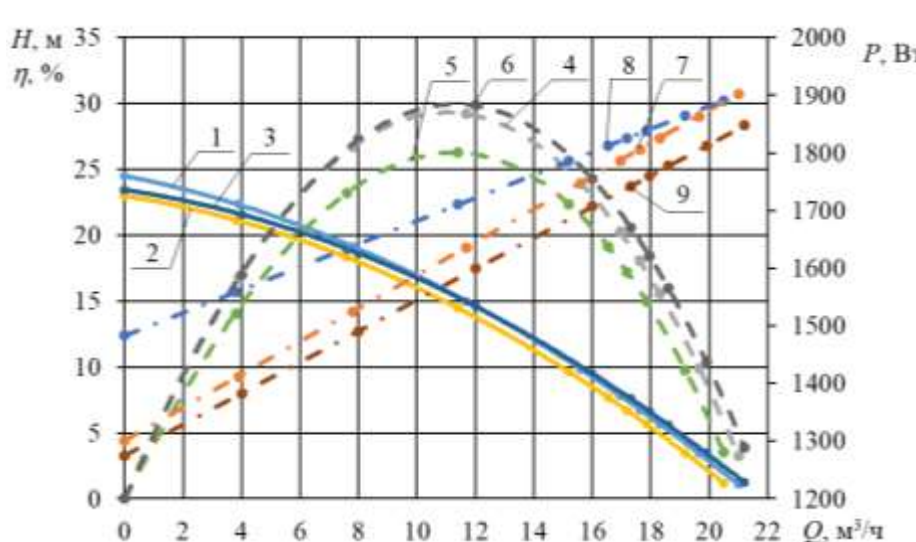


Рисунок 4. Напорно-энергетические характеристики установки при $\beta_2 = 90^\circ$, $\beta_{нл} = 30^\circ, 90^\circ$ и 150° и $Z = 18$ шт.:

1, 2, 3 – зависимости для напора $H = f(Q)$; 4, 5, 6 – зависимости коэффициента полезного действия $\eta = f(Q)$; 7, 8, 9 – зависимости потребляемой мощности $P = f(Q)$ соответственно при $\beta_{нл} = 30^\circ, \beta_{нл} = 90^\circ$ и $\beta_{нл} = 150^\circ$

На рисунке 4 представлена напорно-энергетическая характеристика при изменении угла установки неподвижных лопаток $\beta_{нл}$, которая показывает, что при угле установки $\beta_{нл} = 30^\circ$ напор будет иметь максимальное значения $H_{\max} = 24,50$ м (при $Q = 0$ м³/ч), подача $Q_{\max} = 21,20$ м³/ч при $\beta_{нл} = 150^\circ$. Коэффициент полезного действия достигает максимальное значение $\eta = 29,89\%$ при $\beta_{нл} = 150^\circ$, а максимальное значение потребляемой мощности будет $P_{\max} = 1,920$ кВт ($P_{\max} = 1920,41$ Вт), при $\beta_{нл} = 30^\circ$.

Максимальные номинальные показатели будут составлять соответственно при $\eta = 29,89\%$: подача $Q_n = 12,00$ м³/ч, напор $H_n = 14,62$ м и потребляемая мощность $P_n = 1,599$ кВт ($P_n = 1599,04$ Вт) при угле $\beta_{нл} = 150^\circ$.

Полученные линии (рисунок 4) представим в виде следующих уравнений.

Напор H , коэффициент полезного действия η и потребляемая мощность P при $\beta_{нл} = 30^\circ$:

$$H = -0,033x^2 - 0,431x + 24,499; \quad (17)$$

$$\eta = -0,272x^2 + 5,920x - 1,604; \quad (18)$$

$$P = 28,653x + 1300,7. \quad (19)$$

Напор H , коэффициент полезного действия η и потребляемая мощность P при $\beta_{нл} = 90^\circ$:

$$H = -0,035x^2 - 0,347x + 22,985; \quad (20)$$

$$\eta = -0,251x^2 + 5,407x - 1,885; \quad (21)$$

$$P = 19,878x + 1483,6. \quad (22)$$

Напор H , коэффициент полезного действия η и потребляемая мощность P при $\beta_{нл} = 150^\circ$:

$$H = -0,034x^2 - 0,328x + 23,441; \quad (23)$$

$$\eta = -0,273x^2 + 6,043x - 1,968; \quad (24)$$

$$P = 27,053x + 1274,4. \quad (25)$$

Уравнения для напора H (17), (20) и (23) представляют собой полином второй степени, коэффициент детерминации составляет соответственно $R^2 = 0,992$, $R^2 = 0,990$ и $R^2 = 0,989$. Коэффициент Фишера составляет $F_{(17)} = 236,75$, $F_{(20)} = 200,18$ и $F_{(23)} = 174,28$, что больше табличного значения $F_{табл} = 2,52$ (при $f_1 = 7$, $f_2 = 20$ и $q = 5\%$), следовательно, уравнения (17), (20) и (23) адекватно описывают процесс изменения напора.

Для коэффициента полезного действия η уравнения (18), (21) и (24) представляют собой полином второй степени, коэффициент детерминации составляет соответственно $R^2 = 0,967$, $R^2 = 0,951$ и $R^2 = 0,953$. Коэффициент Фишера составляет $F_{(18)} = 58,44$, $F_{(21)} = 38,41$ и $F_{(24)} = 40,34$, что больше табличного значения $F_{табл} = 2,52$ (при $f_1 = 7$, $f_2 = 20$ и $q = 5\%$), следовательно, уравнения (18), (21) и (24) адекватно описывают процесс изменения коэффициента полезного действия.

Для потребляемой мощности P уравнения (19), (22) и (25) представляют собой линейную модель, коэффициент детерминации составляет соответственно $R^2 = 0,967$, $R^2 = 0,984$ и $R^2 = 0,956$. Коэффициент Фишера составляет $F_{(19)} = 222,01$, $F_{(22)} = 470,54$ и $F_{(25)} = 153,91$, что больше табличного значения $F_{табл} = 2,45$ ($f_1 = 8$, $f_2 = 20$ и $q = 5\%$), следовательно, уравнения (19), (22) и (25) адекватно описывают процесс изменения потребляемой мощности.

Для анализа влияния угла установки неподвижных лопаток $\beta_{нл}$ на максимальные (рисунок 5, а) и номинальные показатели (рисунок 5, б) приведём зависимости.

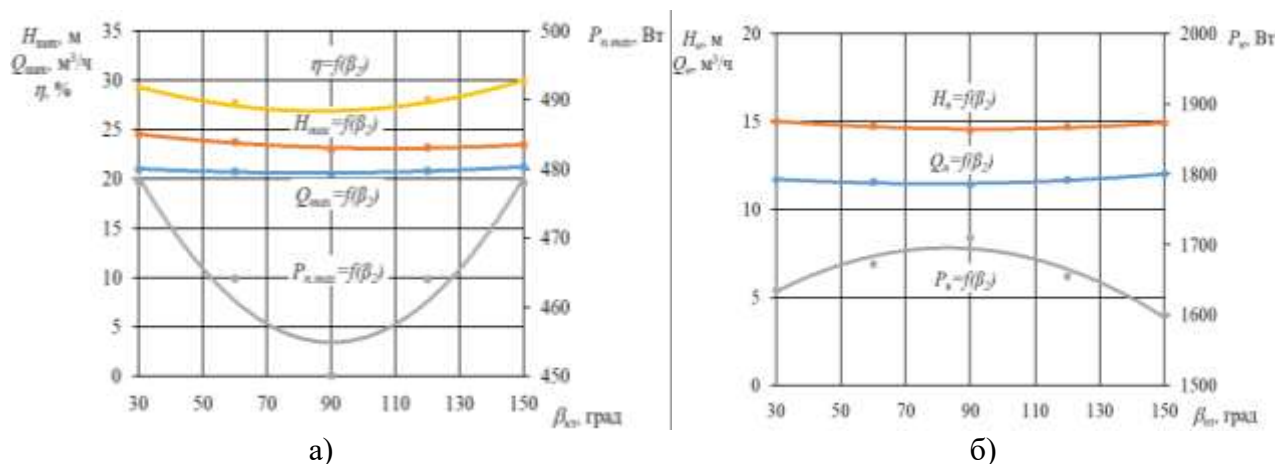


Рисунок 5. Влияние угла установки неподвижных лопаток $\beta_{нл}$ на изменения:

- а) максимальных показателей подачи Q_{max} (m^3/h), напора H_{max} (м), полезной мощности $P_{n,max}$ (Вт), коэффициента полезного действия η (%);
- б) номинальных показателей подачи Q_n (m^3/h), напора H_n (м), потребляемой мощности P_n (Вт)

Анализ максимальных показателей (рисунок 5, а) позволяет сделать вывод, что максимальная подача $Q_{\max} = 21,20 \text{ м}^3/\text{ч}$ достигается при угле $\beta_2 = 150^\circ$, уменьшается до $Q_{\max} = 20,50 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $\beta_2 = 90^\circ$ и вновь немного увеличивается до $Q_{\max} = 21,00 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $\beta_2 = 30^\circ$. При этом максимальный напор $H_{\max} = 24,50 \text{ м}$ при угле $\beta_2 = 30^\circ$, при $\beta_2 = 150^\circ$ снижается до $H_{\max} = 23,44$, при $\beta_2 = 90^\circ$ – до $H_{\max} = 22,99 \text{ м}$, что примерно в 1,07 и 1,02 раза меньше для угла $\beta_2 = 30^\circ$ и $\beta_2 = 150^\circ$ соответственно по сравнению со значением при $\beta_2 = 90^\circ$. Полезная максимальная мощность достигает максимальное значение при угле $\beta_2 = 30^\circ$ и $\beta_2 = 150^\circ$ примерно $P_{n.\max} = 478 \text{ Вт}$, что больше значения при угле $\beta_2 = 90^\circ$ в 1,06 раза. Коэффициент полезного действия имеет максимальное значение $\eta = 29,89 \%$ при $\beta_2 = 150^\circ$, что выше в 1,02–1,14 раза значений при $\beta_2 = 30^\circ$ и 90° .

Номинальная подача (рисунок 5, б) будет иметь максимальное значение $Q_n = 12,00 \text{ м}^3/\text{ч}$ при угле установки неподвижных лопаток $\beta_{нл} = 150^\circ$, а наименьшее значение при угле $\beta_{нл} = 90^\circ$. Номинальный напор H_n , м, убывает с увеличением угла установки неподвижных лопаток $\beta_{нл}$, соответственно максимальное значение достигается $H_n = 15,00 \text{ м}$ при $\beta_{нл} = 30^\circ$. Потребляемая номинальная мощность возрастает до значения $P_n = 1,710 \text{ кВт}$ ($P_n = 1710,21 \text{ Вт}$) при достижении значения угла $\beta_{нл} = 90^\circ$, а минимальное значение составит $P_n = 1,635 \text{ кВт}$ ($P_n = 1635,94 \text{ Вт}$) при $\beta_{нл} = 30^\circ$ и $P_n = 1,599 \text{ кВт}$ ($P_n = 1599,04 \text{ Вт}$) при $\beta_{нл} = 150^\circ$.

Полученные кривые (рисунок 5, а и б) выразим следующими зависимостями:

$$Q_{\max} = 0,0001x^2 - 0,024x + 21,61; \quad (26)$$

$$H_{\max} = 0,0002x^2 - 0,051x + 25,85; \quad (27)$$

$$P_{n.\max} = 0,0067x^2 - 1,202x + 509,03; \quad (28)$$

$$\eta = 0,0008x^2 - 0,134x + 32,63; \quad (29)$$

$$P_n = -0,0221x^2 + 3,666x + 1543,2; \quad (30)$$

$$H_n = 0,0001x^2 - 0,021x + 15,53; \quad (31)$$

$$Q_n = 0,0001x^2 - 0,017x + 12,12. \quad (32)$$

Полученные уравнения (26)–(32) представляют собой полином второй степени, коэффициенты детерминации соответственно составляют $R^2 = 0,926$ $R^2 = 0,960$ $R^2 = 0,918$ $R^2 = 0,921$ $R^2 = 0,928$ $R^2 = 0,922$ и $R^2 = 0,942$. Так расчётный коэффициент Фишера составляет $F_{(26)} = 4,16$, $F_{(27)} = 7,96$, $F_{(30)} = 4,33$ и $F_{(32)} = 5,37$, что больше табличного значения $F_{\text{табл}} = 4,1$ (при $f_1 = 2$, $f_2 = 10$ и $q = 5 \%$), следовательно, уравнения (26), (27), (30) и (32) адекватно описывают процесс влияния угла установки лопаток рабочего колеса β_2 на максимальные и номинальные показатели напорно-энергетической характеристики. При этом расчётный коэффициент Фишера для уравнений (28), (29) и (31) составит $F_{(28)} = 3,75$, $F_{(29)} = 3,90$ и $F_{(31)} = 3,92$, что меньше табличного значения, следовательно, можно сделать вывод о неадекватности описания процесса влияния на показатели напорно-энергетической характеристики.

Таким образом, исследуя влияние угла установки неподвижных лопаток $\beta_{нл}$ на напорно-энергетическую характеристику, приходим к выводу, что максимальные и номинальные показатели будут достигаться в интервале $\beta_{нл} = 30^\circ$ – 60° и $\beta_{нл} = 120^\circ$ – 150° , а значения близкие к $\beta_{нл} = 90^\circ$ снижают параметры напорно-энергетической характеристики.

Изучим влияние количества неподвижных лопаток Z на напорно-энергетические характеристики при неизменном угле лопаток рабочего колеса $\beta_2 = 90^\circ$ и неподвижных лопаток $b_{нл} = 90^\circ$ (рисунок 6).

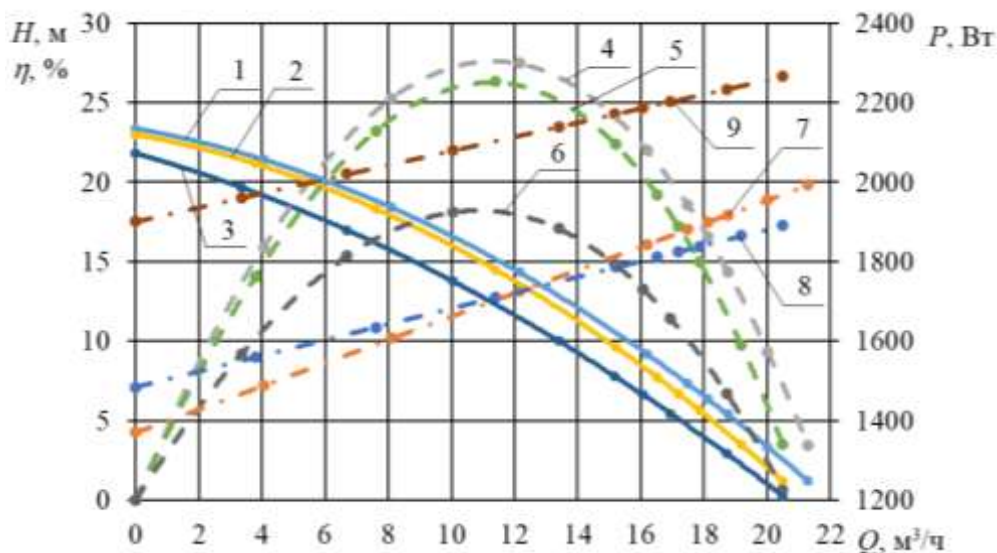


Рисунок 6. Напорно-энергетическая характеристика при различном количестве неподвижных лопаток Z , шт.:

1, 2, 3 – зависимости напора $H = f(Q)$; 4, 5, 6 – зависимости коэффициента полезного действия $\eta = f(Q)$; 7, 8, 9 – зависимости потребляемой мощности $P = f(Q)$ соответственно при $Z = 12$ шт., $Z = 18$ шт. и $Z = 24$ шт.

Представленная напорно-энергетическая характеристика (рисунок 6) показывает, что при числе неподвижных лопаток $Z = 12$ шт. достигаются максимальные значения напора $H_{\max} = 23,36$ м и подачи $Q_{\max} = 21,30$ м³/ч. Коэффициент полезного действия достигает максимальное значение $\eta = 27,49$ % при $Z = 12$ шт., а максимальное значение потребляемой мощности будет $P_{\max} = 2,266$ кВт ($P_{\max} = 2665,91$ Вт), при $Z = 24$ шт.

Максимальные номинальные показатели будут составлять соответственно при $\eta = 27,49$ %: подача $Q_n = 12,15$ м³/ч, напор $H_n = 14,33$ м и потребляемая мощность $P_n = 1,726$ кВт ($P_n = 1725,54$ Вт) при $Z = 12$ шт.

Линии, полученные на рисунке 6, представим в виде следующих уравнений.

Напор H , коэффициент полезного действия η и потребляемая мощность P при $Z = 12$:

$$H = -0,033x^2 - 0,349x + 23,361; \quad (33)$$

$$\eta = -0,249x^2 + 5,421x - 1,727; \quad (34)$$

$$P = 29,197x + 1370,8. \quad (35)$$

Напор H , коэффициент полезного действия η и потребляемая мощность P при $Z = 18$:

$$H = -0,035x^2 - 0,347x + 22,985; \quad (36)$$

$$\eta = -0,251x^2 + 5,407x - 1,885; \quad (37)$$

$$P = 19,878x + 1483,6. \quad (38)$$

Напор H , коэффициент полезного действия η и потребляемая мощность P при $Z = 24$:

$$H = -0,024x^2 - 0,559x + 21,807; \quad (39)$$

$$\eta = -0,178x^2 + 3,731x - 0,904; \quad (40)$$

$$P = 17,776x + 1901,5. \quad (41)$$

Уравнения для напора H , м (33), (36) и (39) представляют собой полином второй степени, коэффициент детерминации составляет соответственно $R^2=0,989$, $R^2=0,990$ и $R^2=0,997$. Коэффициент Фишера составляет $F_{(33)}=177,24$, $F_{(36)}=200,18$ и $F_{(39)}=774,89$, что больше табличного значения $F_{табл}=2,52$ (при $f_1=7$, $f_2=20$ и $q=5\%$), следовательно, уравнения (33), (36) и (39) адекватно описывают процесс изменения напора H , м.

Для коэффициента полезного действия уравнения (34), (37) и (40) представляют собой полином второй степени, коэффициент детерминации составляет соответственно $R^2=0,954$, $R^2=0,951$ и $R^2=0,985$. Коэффициент Фишера составляет $F_{(34)}=41,43$, $F_{(37)}=38,41$ и $F_{(40)}=132,08$, что больше табличного значения $F_{табл}=2,52$ (при $f_1=7$, $f_2=20$ и $q=5\%$), следовательно, уравнения (34), (37) и (40) адекватно описывают процесс изменения коэффициента полезного действия от числа неподвижных лопаток.

Для потребляемой мощности уравнения (35), (38) и (41) представляют собой линейную модель, коэффициент детерминации составляет соответственно $R^2=0,966$, $R^2=0,984$ и $R^2=0,976$. Коэффициент Фишера составляет $F_{(35)}=195,99$, $F_{(38)}=470,54$ и $F_{(41)}=592,17$, что больше табличного значения $F_{табл}=2,45$ ($f_1=8$, $f_2=20$ и $q=5\%$), следовательно, уравнения (35), (38) и (41) адекватно описывают процесс изменения потребляемой мощности.

Для анализа влияния числа неподвижных лопаток Z на максимальные (рисунок 7, а) и номинальные показатели (рисунок 7, б) приведём зависимости.

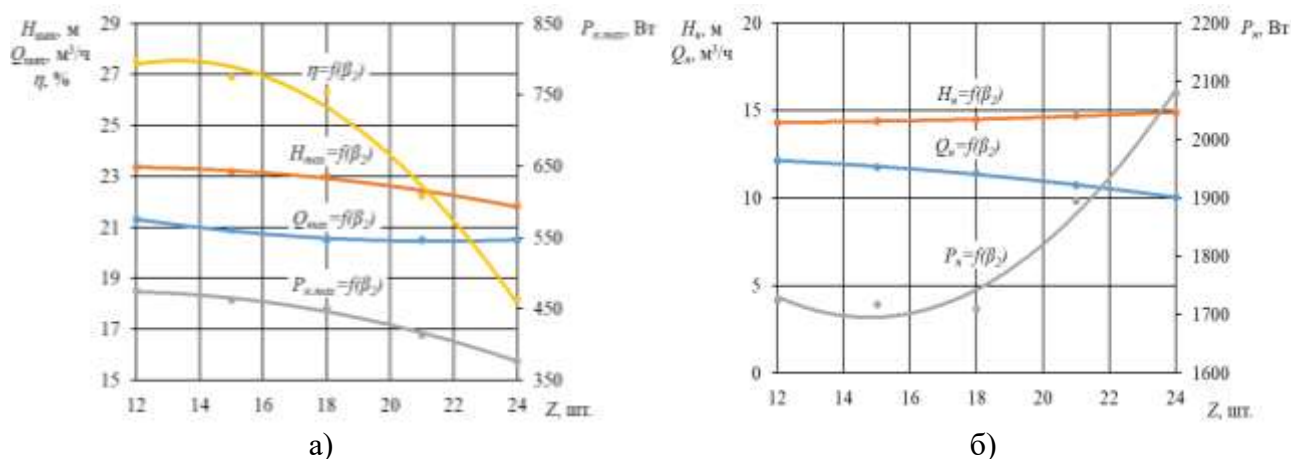


Рисунок 7. Влияние числа неподвижных лопаток Z на изменения:

- а) максимальных показателей подачи Q_{max} (м³/ч), напора H_{max} (м), полезной мощности $P_{n,max}$ (кВт), коэффициента полезного действия η (%);
- б) номинальных показателей подачи Q_n (м³/ч), напора H_n (м) и потребляемой мощности P_n (кВт)

Анализ максимальных показателей (рисунок 7, а) демонстрирует, что максимальная подача $Q_{max} = 21,30$ м³/ч достигается при числе неподвижных лопаток $Z = 12$ шт., дальнейшее их увеличение до $Z = 24$ шт. снизит $Q_{max} = 20,50$ м³/ч, что примерно в 1,04 раза меньше по сравнению со значением подачи при $Z = 12$ шт. Максимальный напор составляет $H_{max} = 23,36$ м при числе неподвижных лопаток $Z = 12$ шт., а при $Z = 24$ шт. достигнет $H_{max} = 21,81$ м, что примерно в 1,07 раза меньше по сравнению со значением напора

при $Z = 12$ шт. Полезная максимальная мощность достигает максимальное значение $P_{n.max} = 474,33$ Вт при $Z = 12$ шт. и соответственно уменьшается при $Z = 18$ и $Z = 24$. Коэффициент полезного действия изменяется полиномиально и имеет максимальное значение $\eta = 27,94\%$ при $Z = 12$ шт., минимальное значение составит $\eta = 18,12\%$ при $Z = 24$ шт.

Исследования влияния числа неподвижных лопаток на номинальные показатели (рисунок 7, б) показывают, что подача составляет $Q_n = 12,15$ м³/ч при $Z = 12$ шт., напор будет равен $H_n = 14,33$ м при $Z = 12$ шт. Минимальное значение номинальной потребляемой мощности составляет $P_n = 1,726$ кВт при $Z = 12$ шт., дальнейшее увеличение числа лопаток ведет к увеличению потребляемой мощности.

Полученные кривые (рисунок 7, а и б) выразим следующими зависимостями:

$$Q_{max} = 0,0095x^2 - 0,410x - 24,85; \quad (42)$$

$$H_{max} = -0,0095x^2 + 0,214x + 22,15; \quad (43)$$

$$P_{n.max} = -0,5828x^2 + 12,862x + 403,22; \quad (44)$$

$$\eta = -0,0837x^2 + 2,231x + 12,661; \quad (45)$$

$$P_n = 4,5866x^2 - 135,57x + 2697,4; \quad (46)$$

$$H_n = 0,003x^2 - 0,059x + 14,61; \quad (47)$$

$$Q_n = -0,0071x^2 + 0,082x + 12,18. \quad (48)$$

Полученные уравнения (42)–(48) представляют собой полином второй степени, коэффициенты детерминации соответственно составляют $R^2 = 0,982$, $R^2 = 0,994$, $R^2 = 0,995$, $R^2 = 0,989$, $R^2 = 0,980$, $R^2 = 0,996$ и $R^2 = 0,998$. Так, расчётный коэффициент Фишера составляет $F_{(42)} = 18,33$, $F_{(43)} = 58,50$, $F_{(44)} = 61,50$, $F_{(45)} = 29,67$, $F_{(46)} = 16,10$, $F_{(47)} = 81,41$ и $F_{(48)} = 182,40$, что больше табличного значения $F_{табл} = 4,1$ (при $f_1 = 2$ и $f_2 = 10$, $q = 5\%$), следовательно, уравнения (42)–(48) адекватно описывают процесс влияния числа неподвижных лопаток на максимальные и номинальные показатели напорно-энергетической характеристики.

Таким образом, исследуя влияние числа неподвижных лопаток на напорно-энергетическую характеристику, приходим к выводу, что максимальные и номинальные показатели будут достигаться в интервале $Z = 12$ – 14 шт.

Заключение. Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что максимальные показатели напора H_{max} , полезная мощность $P_{n.max}$ и коэффициент полезного действия η будут иметь наибольшее значение при угле $\beta_2 = 90^\circ$, а подача Q_{max} при $\beta_2 = 30^\circ$. Для номинальных показателей напор H_n достигает наибольшего значения при $\beta_2 = 90^\circ$, а подача Q_n при $\beta_2 = 150^\circ$. Наименьшее значение потребляемой мощности P_n будет достигаться в интервале $\beta_2 = 70$ – 110° . Максимальные и номинальные показатели напорно-энергетической характеристики будут достигаться в интервале $Z = 12$ – 14 шт. и в интервале $\beta_{нл} = 30^\circ$ – 60° и $\beta_{нл} = 120^\circ$ – 150° , при этом значения близкие к $\beta_{нл} = 90^\circ$ снижают параметры напорно-энергетической характеристики.

Список источников

1. Булатов С. Ю., Семенов С. В., Сергеев А. Г. Функционально-морфологическая схема установки для приготовления зерновой патоки // Техника и оборудование для села. 2021. № 9 (291). С. 18–22.
2. Системы и методы оценки гомогенности кормовых смесей для сельскохозяйственных животных / И. В. Миронова, Э. Х. Латыпова, Е. А. Никитин, Д. А. Благов // Аграрная наука. 2024. № 5. С. 56–62.
3. Солонщиков П. Н. Методика проведения испытаний по определению качества продукта в установке для приготовления жидких кормовых смесей // Вестник Вятского ГАТУ. 2021. № 3 (9). С. 6.
4. Савиных П. А., Казаков В. А. Разработка установки для производства зерновой патоки и исследование ее технологических параметров // Техника и технологии в животноводстве. 2024. Т. 14, № 4. С. 57–63.
5. Эффективность смесителя кормов с комбинированными рабочими органами / А. Ю. Глазков, А. В. Китун, М. Е. Выгузов [и др.] // Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии : материалы III Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии», посвященной памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ В. И. Вигдоровича, Тамбов, 18–20 октября 2023 года. Тамбов : Издательство ИП Чеснокова А.В., 2023. С. 381–385.
6. Патент на полезную модель 146974 РФ, МПК A29C9/00, A01J11/16, B01F7/02. Установка для приготовления смесей / В. Г. Мохнаткин, В. Н. Шулятьев, А. С. Филинков, П. Н. Солонщиков [и др.] (РФ). № 2014121853/10 ; заявлено 29.05.2014. Бюл. 2014. № 29. 2 с.

References

1. Bulatov SYu, Semenov SV, Sergeev AG. Functional and morphological scheme of the installation for preparing grain molasses. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2021;(9):18–22. (In Russ.).
2. Mironova IV, Latypova EK, Nikitin EA, Blagov DA. Systems and methods for assessing the homogeneity of feed mixtures for agricultural animals. Agrarnaya nauka. 2024;(5):56–62. (In Russ.).
3. Solonshchikov PN. Test procedure for determining the quality of the product in the installation for preparing liquid feed mixtures. Vestnik Vyatskogo GATU. 2021;(3):6. (In Russ.).
4. Savinykh PA, Kazakov VA. Development of an installation for producing grain molasses and the study of its technological parameters. Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. 2024;14(4):57–63. (In Russ.).
5. Glazkov AY, Kitun AV, Vyguzov ME, et al. Effektivnost' smesitelya kormov s kombinirovannymi rabochimi organami = Efficiency of the feed mixer with combined implements. In: Aktual'nye voprosy elektrokhimikii, ekologii i zashchita ot korrozhenii: materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyaschennoy pamyati professora, zasluzhennogo deyatelya nauki i tekhniki RF V. I. Vigdorovicha = Urgent issues of electrochemistry, ecology and corrosion protection: proceedings of the III international scientific and practical conference, dedicated to the memory of professor, honored worker of science and technology of the Russian Federation V. I. Vigdorovich, Tambov, October 18–20, 2023. Tambov: Chesnokova AV Publishing; 2023. P. 381–385. (In Russ.).
6. Patent na poleznuyu model' 146974 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A29C9/00, A01J11/16, B01F7/02. Ustanovka dlya prigotovleniya smesey: 2014121853/10: zayavlen 29.05.2014. Byulleten' 29 2014. VG Mokhnatkin, VN Shulyatiev, AS Filinkov, PN Solonshchikov et al. (In Russ.).

Информация об авторе

Шевченко Артём Васильевич, старший преподаватель кафедры эксплуатации машин и технологического оборудования, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017

e-mail: shev_av_vgatu@mail.ru

Information about the author

Shevchenko Artem Vasilievich, senior lecturer, department of Machine and Technological Equipment Operation, Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Prospekt, Kirov, 610017, the Russian Federation

e-mail: shev_av_vgatu@mail.ru

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the author declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

01.09.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

10.09.2026

принята к публикации / accepted for publication

18.09.2026

Научная статья
УДК 631.331
DOI 10.66783/2782-3172.2026.53.44.014

ОЦЕНКА МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ ПОСЕВНЫХ РАБОТАХ

Сергей Дмитриевич Шепелев¹, Константин Юрьевич Рыбалченко¹,
Николай Александрович Кузнецов²

¹Челябинский институт путей сообщения – филиал Уральского государственного университета путей сообщения, Челябинск, Россия

²Южно-Уральский государственный аграрный университет, Институт агроинженерии, Челябинск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сергей Дмитриевич Шепелев, shepelev2@yandex.ru

Аннотация

В статье представлена методика оценки машиноиспользования технологических машин на примере посева зерновых культур в крупном предприятии, расположенном в степной зоне Южного Урала. Рассматриваются основные факторы, определяющие эффективность эксплуатации широкозахватных посевных агрегатов. Выявлены основные причины снижения производительности агрегатов на посеве зерновых и масличных культур. На основании проведенных хронометражных наблюдений получены данные, позволяющие определить дневную производительность рассматриваемых посевных агрегатов, а также их коэффициент использования времени смены и структуру простоев в течение смены. Установлено, что наибольшая доля простоев агрегатов связана с обслуживанием посевных комплексов и устранением последствий технических отказов. Предложены основные рекомендации производителям, позволяющие повысить эффективность использования посевных комплексов в условиях данного предприятия.

Ключевые слова: методика, оценка, машинный комплекс, пример, хронометраж, эффективность, отказ, посев, производительность, время смены

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств авторов

Для цитирования: Шепелев С. Д., Рыбалченко К. Ю., Кузнецов Н. А. Оценка машиноиспользования технологических машин // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 139–147. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.53.44.014.

EVALUATING THE MECHANICAL USE OF TECHNOLOGICAL MACHINES IN SOWING WORK

Sergey D. Shepelev¹, Konstantin Yu. Rybalchenko¹, Nikolai A. Kuznetsov²

¹Chelyabinsk Institute of Railway Transport – a branch of Ural State University of Railway Transport, Chelyabinsk, Russia

²South Ural State Agrarian University, Institute of Agricultural Engineering, Chelyabinsk, Russia

Corresponding author: Sergey D. Shepelev, shepelev2@yandex.ru

Abstract

The article presents the methodology for assessing the technological machines use on the example of sowing grain crops in the large enterprise located in the steppe zone of the Southern

Urals. The main factors that determine the efficiency of using wide-width sowing units are considered. The main reasons for the decrease in the productivity of sowing units for grain and oilseed crops are identified. Based on the conducted time-keeping observations, the data have been obtained to determine the daily productivity of the sowing units under consideration, as well as their shift time utilization rate and the structure of downtime during the shift. It has been established that the largest share of downtime is associated with the maintenance of sowing complexes and the elimination of the consequences of technical failures. The main recommendations for production workers have been proposed in order to improve the efficiency of using sowing complexes in this enterprise.

Keywords: methodology, assessment, machine complex, example, timekeeping, efficiency, failure, sowing, productivity, shift time

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Shepelev SD, Rybalchenko KYu, Kuznetsov NA. Evaluating the mechanical use of technological machines in sowing work. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):139–147. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.53.44.014. (In Russ.).

Введение. Механизированные комплексы с тракторами повышенной единичной мощностью на посеве имеют рабочую ширину захвата от 15 до 21 м и могут работать на скорости 10–15 км/ч. Это свидетельствует о высокой потенциальной способности данных агрегатов с точки зрения повышения сменной и суточной производительности, что безусловно позволяет, при ограниченности механизаторских кадров на селе, решать вопросы своевременного выполнения полевых операций.

Крупные размеры хозяйств степной зоны Южного Урала предполагают использование широкозахватных агрегатов. Однако для полного использования энергетического потенциала указанных комплексов требуется четкая организация проведения полевых работ. Как показали исследования, время чистой работы посевных комплексов в течение смены составило всего 8–10 часов. Высокая стоимость данных комплексов требует увеличенной годовой загрузки в течение сезона полевых работ [1–3]. Основными факторами, приводящими к ухудшению показателей функционирования машинных комплексов, являются простои по техническим (вызванных отказом составных частей машин и оборудования), технологическим, метеорологическим и другим причинам. Это в конечном итоге в целом уменьшает показатели результативности посевных агрегатов [4–6].

Целью исследования являлось выявление основных причин, приводящих к ухудшению показателей использования машинных комплексов на примере посевных агрегатов в процессе посева зерновых культур в крупном предприятии степной зоны Южного Урала.

Материал и методы. Исследования проводились на основании хронометражных наблюдений весной 2025 года для определения сменного баланса времени и величины коэффициента использования рабочего времени смены, характеризующего эффективность использования машинных комплексов в течение времени смены (суток).

Хронометражные наблюдения проводились на примере посевных агрегатов в производственных условиях ООО «Совхоз Брединский», Брединского района, Челябинской области, с общей посевной площадью 10 000 га.

Наибольший удельный вес в общей структуре посевных площадей хозяйства занимает подсолнечник и твердая пшеница, доля которых занимает 34 и 25 %, затем идет ячмень и мягкая пшеница с долей посева 10 %, оставшуюся часть площади занимают посевы льна 3 % и бобовых культур (горох 2 %, нут 1 %). Под пар отводится 27 % обрабатываемой площади.

Хронометраж рабочего времени смены проводился в период с 16.05.2025 по 28.05.2025 за двумя агрегатами, работающими в одном звене на посеве твердой пшеницы, мягкой пшеницы в ООО «Совхоз Брединский». Закрепляемые механизаторы за соответствующим посевным комплексом представлены в таблице 1.

Таблица 1. Закрепляемые механизаторы за посевными агрегатами

ФИО механизатора, смена	Посевной машинный комплекс	Номер агрегата
Макаров В. (дневная)	K-742+AMAZONE-Condor 15001-C	0284
Куватов Р. (ночная)		
Токмогамбетов А. (дневная)	K-744P4+AMAZONE-Condor 15001	1187
Венслов В. (ночная)		

Во время наблюдений два хронометражиста использовали секундомер марки СОСпр-26-2-000 и неотлучно находились около агрегатов и заносили в наблюдательный лист (хронокарту) все элементы времени смены в порядке их последовательности с момента прихода исполнителей к своему рабочему месту до постановки агрегатов на хранение. В процессе выполнения посева наблюдатели фиксировали причины каждой остановки и указывали, работал ли при этом агрегат или был остановлен. Точность всех наблюдений для условий хозяйства – 1 минута [7, 8].

В ходе проведения исследований ставились следующие задачи:

1. Проанализировать полученные результаты, определить показатели эффективности использования машинных комплексов на примере посевных агрегатов.
2. Разработать рекомендации по повышению эффективности использования машинных комплексов на примере посевных агрегатов.

Результаты и обсуждения. В результате проведенных исследований была определена дневная производительность рассматриваемых машинных комплексов на примере посевных агрегатов при реализации ресурсосберегающей технологии возделывания зерновых культур. Графически информация по изменению дневной производительности от периода наблюдений представлена на рисунке 1.

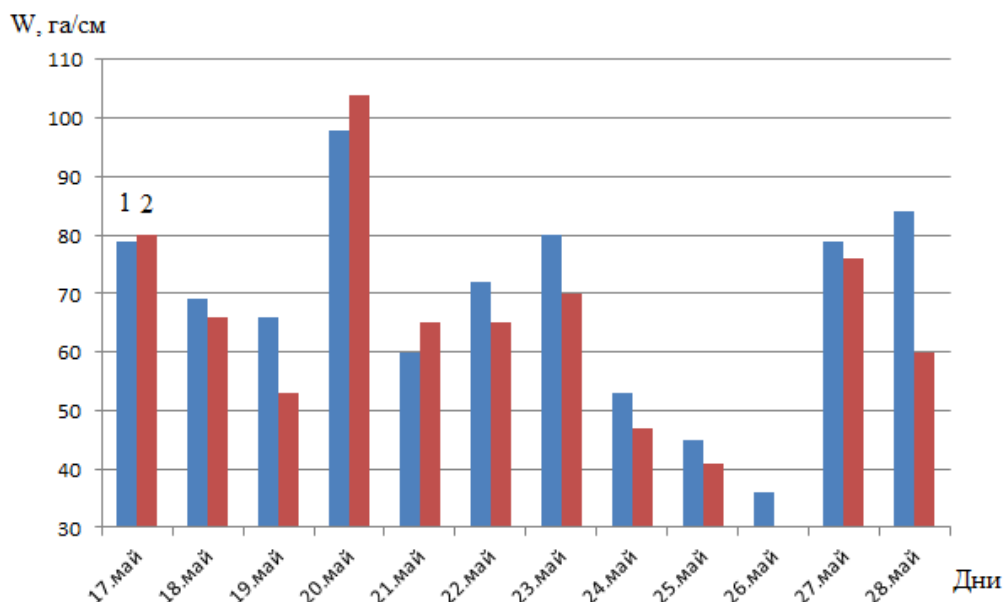


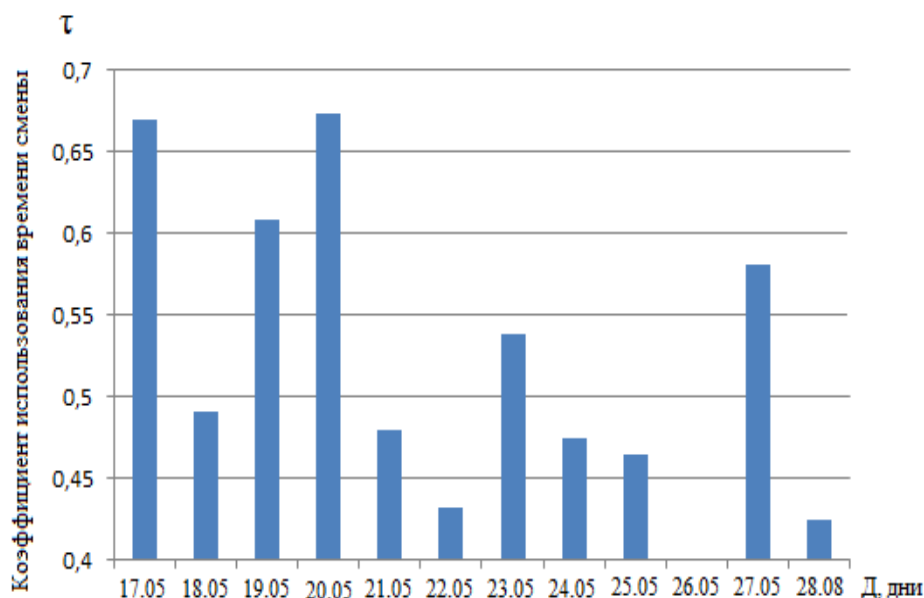
Рисунок 1. Динамика изменения дневной производительности машинных комплексов
(1 – агрегат № 0284; 2 – агрегат № 1187)

Из представленных данных видно, что дневная производительность машинных комплексов имеет выраженную неравномерность в течение наблюдаемого периода. Так, максимальная и минимальная дневная производительность составила для агрегата № 0284 – 98 га/см и 36 га/см. Для агрегата № 1187 максимальное значение составило 104 га/см и минимальное 41 га/см, при этом 26 мая данный агрегат не производил посев зерновых

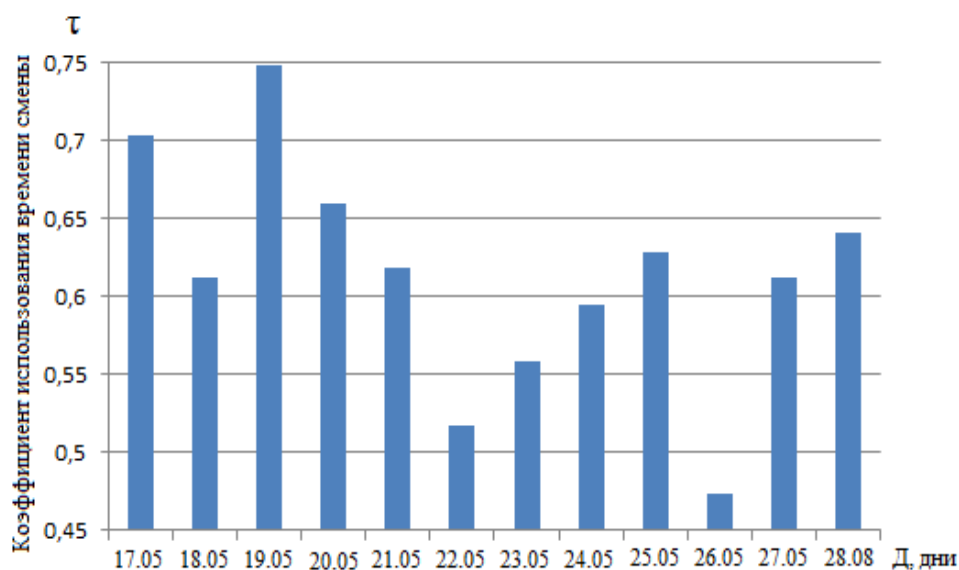
культур из-за простоя по техническим причинам. Средняя дневная производительность составила 68,4 га/см для агрегата № 0284 и 60,5 га/см для № 1187.

Для повышения производительности и снижения расхода топлива необходимо четко планировать работу на весь период посевной, агрегаты в поле выпускать только исправные и прошедшие настройку и регулировку на заданную норму высева на специальных площадках, проводить учебу и семинары для руководителей хозяйств и механизаторов по работе с новой техникой и современными технологиями [9, 10].

На основании полученных данных были определены коэффициенты использования времени смены времени смены машинных комплексов за указанный период наблюдения (рисунок 2 а, б).



а) агрегат № 0284



б) агрегат № 1187

Рисунок 2. Изменение коэффициента использования времени смены машинных комплексов за наблюдаемый период

Из рассматриваемых графиков видно, что использование машинных комплексов сопровождается различными значениями коэффициента использования времени смены. В таблице 2 представлены основные статистические данные коэффициента использования времени смены рассматриваемых комплексов.

Таблица 2. Статистические данные коэффициента использования времени смены

№ п/п	Номер агрегата	Среднее значение	Максимальное значение	Минимальное значение
1	1187	0,49	0,67	0,43
2	0284	0,614	0,75	0,47

Из представленных данных видно, что для агрегата № 1187 среднее значение (0,49) ближе к минимальному (0,43), чем к максимальному (0,67), что указывает на преобладание периодов с пониженной эффективностью. У машинного комплекса № 0284 среднее (0,614) смещено в сторону максимума (0,75), что говорит о том, что большую часть времени этот агрегат работает достаточно продуктивно, но редкие сбои значительно ухудшают общую картину.

Средний коэффициент использования времени смены агрегата № 0284 составляет 0,614, что на 0,124 пункта превышает аналогичный показатель агрегата № 1187 (0,49). Это различие показывает, что № 0284 в среднем работает более эффективно. Однако размах между максимальным и минимальным значениями у агрегатов указывает на наличие резервов времени у обоих комплексов.

В структуре затрат времени на простои агрегатов необходимо выделить две основные категории [11, 12]:

- первая категория – регламентированные: время на подготовительно- заключительные операции, техническое обслуживание, обед и др. Время на проведение регламентированных работ предусмотрено продолжительностью проведения указанных операций. Выход за временные рамки может быть связан только с нечеткой организацией труда ремонтного и обслуживающего персонала;

- вторая категория – вынужденные: время на устранение технических неисправностей, простои по организационным причинам и т. д. Время вынужденных простоев агрегатов зависит от уровня организации труда, уровня механизации, оснащенности специальным оборудованием, квалификации специалистов и т. д.

Анализ причин простоев агрегатов, возникающих в период полевых работ, позволит сформулировать основные рекомендации производителям при эксплуатации посевных агрегатов в конкретных производственных условиях. С учетом этого на основании полученных результатов представлена структура простоев машинных комплексов на примере посевных агрегатов, возникших в наблюдаемый период (рисунок 3 и 4).

Если время простоев по первой категории строго регламентировано и оно необходимо для обеспечения работоспособности машинно-тракторных агрегатов и обслуживающего персонала, то вторая категория имеет большие резервы для повышения производительности агрегатов.



Рисунок 3. Структура простоев посевого агрегата № 0284



Рисунок 4. Структура простоев посевого агрегата № 1187

Из представленных графиков видно, что большие потери времени смены связаны с техническими причинами, с ожиданием транспорта на загрузку посевных комплексов и непосредственно с загрузкой. Так, для посевого агрегата № 0284 простои составили: на устранение технических отказов – 39 %; на ожидание транспорта для загрузки посевных комплексов – 10 %; на загрузку посевных комплексов – 14 %. Для агрегата № 1187 эти простои

составили 8, 15 и 16 % соответственно. Снижение потерь времени на указанные процессы позволит значительно увеличить коэффициент использования рабочего времени.

Заключение. Таким образом для снижения затрат времени, связанных с обслуживанием машинных комплексов, на примере посевных агрегатов в предприятии степной зоны Южного Урала рекомендуется:

- использовать для загрузки посевных комплексов перегружатель типа Лилиани БП-25/31, а перегружатель на базе КАМАЗ применять для обслуживания данного перегружателя;

- обслуживать перегружатель типа Лилиани БП-25/31 в ранние часы на складе, чтобы до приезда утренней смены механизаторов перегружатель находился в поле; осуществлять своевременную доставку семян к посевным комплексам с учетом удаленности полей;

- использовать квалифицированных исполнителей на управление перегружателей зерна, с целью сокращения времени подъезда к широкозахватному посевному агрегату;

- увеличить количество погрузчиков зерна на складах для обслуживания перегружателей зерна.

Для устранения простоев по техническим причинам необходимо:

- иметь на складе необходимую номенклатуру запасных частей для обеспечения работоспособности отечественных и импортных посевных агрегатов;

- закрепить за каждым звеном посевных агрегатов мобильную единицу для организации доставки необходимых запасных частей от склада к посевным агрегатам;

- иметь запас приводных ремней соответствующей марки на перегружателе Лилиани БП-25/31, а не на складе;

- перед началом посевной организовать проверку исправности высевающих аппаратов, датчиков и сошниковых групп и гидравлической системы посевных комплексов, чтобы предупредить технический отказ посевного комплекса во время эксплуатации;

- организовать осмотр агрегата после ночной смены с целью выявления технических отказов и информировать о потребности в запасных частях.

Список источников

1. Окунев Г. А., Шепелёв С. Д., Кузнецов Н. А. Тенденции переоснащения парка тракторов // Сельский механизатор. 2025. № 4. С. 6–8.
2. Коротких Ю. С., Пуляев Н. Н. Современные формы машиноиспользования в России и за рубежом // Экономика сельского хозяйства России. 2021. № 3. С. 93–97.
3. Пискарев А. В. Технологические системы машиноиспользования в растениеводстве: Формирование и анализ с позиций системного подхода // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. № 9 (59). С. 63–67.
4. Журавлев А. В. Влияние ширины захвата сеялок СКП-2,1 на технико-экономические показатели машиноиспользования // Наука молодых – будущее России : сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2022. С. 64–69.
5. Калашников М. Ю. Затраты рабочего времени всегда в фокусе внимания // Экономика железных дорог. 2023. № 6. С. 74–80.
6. Мяло О. В. Оценка технического состояния тракторов на предприятиях агропромышленного комплекса Омской области с учетом затрат на устранение возникающих отказов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2026. № 1 (61). С. 171–179.
7. ГОСТ 24055-2016. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. М. : Стандартинформ, 2017. 23 с.
8. Горпинченко К. Н. Статистика : учебное пособие для вузов. М. : Лань, 2023. 156 с.
9. Качурин В. В., Лещенко Е. А. Обеспеченность материальными ресурсами агрохолдинга для проведения посевных работ в условиях Челябинской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (68). С. 82–85.

10. Кравченко Е. Н., Шепелёв С. Д., Окунев Г. А. Технология посева в условиях рискованного земледелия // Сельский механизатор. 2021. № 9. С. 46–47.
11. Редреев Г. В., Качурин В. В. Потенциал современных посевных комплексов на севе // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (28). С. 239–244.
12. Шепелев С. Д., Пятаев М. В., Кравченко Е. Н. Разработка технологии и технического средства прямого посева для условий засушливого земледелия // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 2. С. 251–259.

References

1. Okunev GA, Shepelev SD, Kuznetsov NA. Trends in the re-equipment of the tractor park. Sel'skiy Mechanizator. 2025;(4):6–8. (In Russ.).
2. Korotkikh YuS, Pulyaev NN. Modern forms of machine use in Russia and abroad. Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii. 2021;(3):93–97. (In Russ.).
3. Piskarev AV. Technological systems of machine use in crop production: formation and analysis from the perspective of a system approach. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2009;(9):63–67. (In Russ.).
4. Zhuravlev AV. Vliyaniye shiriny zakhvata seyalok SKP-2,1 na tekhniko-ekonomicheskiye pokazateli mashinoispol'zovaniya = Influence of the width of the SKP-2.1 seeders on the technical and economic indicators of machine use. In: Nauka molodykh – budushcheye Rossii: sbornik statey III vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Science of the young – the future of Russia: collection of articles of the III all-russian scientific and practical conference. Penza; 2022. P. 64–69. (In Russ.).
5. Kalashnikov MYu. Working time costs are always in the spotlight. Ekonomika zheleznikh dorog. 2023;(6):74–80. (In Russ.).
6. Myalo OV. Assessment of the technical condition of tractors at agricultural enterprises in Omsk Region, taking into account the costs of eliminating failures. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2026;(1):171–179. (In Russ.).
7. GOST 24055-2016. Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya. Metody ekspluatatsionno-tekhnologicheskoy otsenki = GOST 24055-2016. Agricultural machinery. Methods of operational and technological assessment. Moscow: Standartinform Publishing; 2017. 23 p. (In Russ.).
8. Gorpinchenko KN. Statistika: uchebnoye posobiye dlya vuzov = Statistics: textbook for universities. Moscow: Lan' Publishing; 2023. 156 p. (In Russ.).
9. Kachurin VV, Leshchenko EA. Availability of material resources for agrarian enterprise to carry out sowing operations in the conditions of Chelyabinsk Region. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017;(6):82–85. (In Russ.).
10. Kravchenko EN, Shepelev SD, Okunev GA. Sowing technology in the conditions of risky farming. Sel'skiy mekhanizator. 2021;(9):46–47. (In Russ.).
11. Redreev GV, Kachurin VV. The potential of modern sowing complexes on sowing. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017;(4):239–244. (In Russ.).
12. Shepelev SD, Pyataev MV, Kravchenko EN. Development of technology and technical means of direct sowing for conditions of arid farming. Traktory i sel'khomashiny. 2024;91(2):251–259. (In Russ.).

Информация об авторах

Шепелев Сергей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, научный сотрудник, Челябинский институт путей сообщения – филиал ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», ул. Цвиллинга, д. 56, г. Челябинск, Российская Федерация, 454091
e-mail: shepelev2@yandex.ru

Рыбалченко Константин Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин, Челябинский институт путей сообщения – филиал ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», ул. Цвиллинга, д. 56, г. Челябинск, Российская Федерация, 454091

e-mail: KRybalchenko@usurt.ru

Кузнецов Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Институт агроинженерии, пр-т Ленина, д. 75, г. Челябинск, Российская Федерация, 454080

Information about the authors

Shepelev Sergey Dmitrievich, doctor of technical sciences, professor, research fellow, Chelyabinsk Institute of Railway Transport – a branch of Ural State University of Railway Transport, 56 Tsvillinga Street, Chelyabinsk, 454091, the Russian Federation

e-mail: shepelev2@yandex.ru

Rybalchenko Konstantin Yurievich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of General and Professional Disciplines, Chelyabinsk Institute of Railway Transport – a branch of Ural State University of Railway Transport, 56 Tsvillinga Street, Chelyabinsk, 454091, the Russian Federation

e-mail: KRybalchenko@usurt.ru

Kuznetsov Nikolai Aleksandrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of Tractors, Agricultural Machinery, and Farming, South Ural State Agrarian University, Institute of Agroengineering, 75 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 4540800, the Russian Federation

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors stated that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

11.08.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

25.08.2026

принята к публикации / accepted for publication

07.09.2026

УДК 634.1

DOI 10.66783/2782-3172.2026.59.62.015

УЧЁНЫЙ-САДОВОД ЗЕМЛИ ВЯТСКОЙ – СТОЛБОВ АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ (К 105-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

Григорий Анатольевич Ренгартен, Михаил Витальевич Черемисинов

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Григорий Анатольевич Ренгартен, rengarten.g@gmail.com

Аннотация

Статья содержит биографический очерк, который посвящён памяти одного из наиболее известных учёных-садоводов Вятского края – кандидата сельскохозяйственных наук, заслуженного агронома РСФСР, доцента Алексея Николаевича Столбова. Освещены основные этапы его профессионального пути, научные интересы и государственные награды. Особое место в его исследованиях занимали вопросы интенсивного садоводства: выращивание яблони на клоновых подвоях, разработка технологий получения посадочного материала плодово-ягодных культур, а также изучение стланцевых и колонновидных форм яблони в условиях Кировской области. Отдельно отмечены факты его участия в Великой Отечественной войне, в том числе в боях под Кричевом, а также сведения о семье. Под руководством А. Н. Столбова подготовлен один кандидат наук и более тридцати выпускников, часть которых и сегодня продолжает педагогическую и научную работу на агрономическом факультете Вятского государственного агротехнологического университета.

Ключевые слова: Столбов Алексей Николаевич, садоводство, пловодство, яблоня, подвой

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет средств авторов

Для цитирования: Ренгартен Г. А., Черемисинов М. В. Учёный-садовод земли Вятской – Столбов Алексей Николаевич (к 105-летию со дня рождения) // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 148–153. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.59.62.015.

ALEKSEY NIKOLAYEVICH STOLBOV – VYATKA HORTICULTURIST (DEDICATED TO THE 105TH ANNIVERSARY OF HIS BIRTH)

Grigory A. Rengarten, Mikhail V. Cheremisinov

Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

Corresponding author: Grigory A. Rengarten, rengarten.g@gmail.com

Abstract

The article presents a biographical sketch dedicated to the memory of one of the Vyatka region's most renowned horticultural scientists: Candidate of Agricultural Sciences, Honored Agronomist of the RSFSR, and Associate Professor Alexey Nikolayevich Stolbov. The paper outlines the main stages of his professional career, his scientific interests, and the awards he received. Particular attention in his research was given to intensive fruit growing, including the cultivation of apple trees on clonal rootstocks, the development of technologies for producing planting material for fruit and berry crops, and the study of prostrate and columnar apple forms under the soil

and climatic conditions of the Kirov region. The article also includes information about his participation in the Great Patriotic War, including episodes of combat near Krichev, as well as details of his family life. Under A. N. Stolbov's supervision, one Candidate of Sciences and more than thirty graduates were trained; some of them continue teaching and research activities at the Faculty of Agronomy of Vyatka State Agrotechnological University.

Keywords: Stolbov Alexey Nikolaevich, horticulture, fruit growing, apple tree, rootstock

Funding: the research underlying this article was funded by the authors' own funds

For citation: Rengarten GA, Cheremisinov MV. Aleksey Nikolayevich Stolbov – Vyatka horticulturist (dedicated to the 105th anniversary of his birth). Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):148–153. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.59.62.015. (In Russ.).

Алексей Николаевич Столбов родился 17 мая 1921 года в г. Вятка в многодетной семье железнодорожника (рисунок 1). Будучи самым младшим ребёнком, он рос под опекой бабушки по отцовской линии. Семья бережно хранила память о своих вятских корнях и отличалась трудовыми традициями.

Судьба его семьи была непростой. В 1932 году мать А. Н. Столбова, Надежда Николаевна, подверглась репрессиям: постановлением Особого совещания при коллегии ОГПУ её приговорили к трёхлетней ссылке в Уфу. Поводом для обвинения послужили предполагаемая принадлежность к троцкистской организации и участие в церковном хоре храма Серафима Саровского [1].



Рисунок 1. Столбов Алексей Николаевич

В школьные годы Алексей окончил семь классов школы № 20 Горьковской железной дороги. Он активно участвовал в пионерской и комсомольской жизни, был вожатым, руководил кружком юных натуралистов и шумовым оркестром. Воспитанием мальчика, кроме бабушки, также занималась тётя, Надежда Ивановна, которая жила очень скромно.

Надежда Ивановна часто обращалась с просьбой о назначении персональной пенсии, чтобы помочь племяннику получить образование и поставить его на ноги. С ранних лет Алексей мечтал стать садоводом, как И. В. Мичурин, и заниматься выращиванием плодовых деревьев. Именно поэтому назначение персональной пенсии в размере 30 рублей в месяц,

полагавшейся ему как иждивенцу до совершеннолетия, стало важной поддержкой на пути к будущей профессии.

В далеком 1937 году А. Н. Столбов становится учащимся плодово-ягодного техникума в г. Мичуринске (Тамбовская область). Обучаясь в техникуме, Алексей одновременно занимался общественной работой в качестве комсорга техникума.

После завершения образования 22 июня 1941 года и получения квалификации младшего агронома, его направляют в Тамбов, где зачисляются в Тамбовский коммунистический батальон, в который преимущественно вошли активные члены ВКП(б) и комсомольцы. В батальоне он проходит в течение месяца обучение, по окончании которого его отправляют в город Климовичи на фронт. На это время на фронт из г. Тамбова было отправлено 1750 комсомольцев. Первое сражение произошло под городом Кричевом 29 июля.

А 9 августа 1941 года Алексей попал в плен. Около 8–10 дней он находился в лагере военнопленных в Кричеве, затем – в пересыльных лагерях в Могилеве и Орше. Лишь 7 мая 1945 года он был освобождён Советской Армией. Демобилизовали Алексея в 1946 году, на этот период он был молодым, активным парнем 25 лет. Мирная профессия агронома определила его дальнейший путь. С 1945 года наступает период восстановления отечественного садоводства, проводится Всесоюзная перепись плодовых насаждений, необходимая для возрождения отрасли. Для этого требовались земля, питомники с сортовой продукцией, квалифицированные кадры и, что особенно важно, люди, преданные своему делу [1].

Академиком РАСХН Седовым Е. Н. в 1997 году была опубликована книга «Садоводы-учёные России», в которой было представлено более 1000 ученых-садоводов. В труд вошли имена специалистов, известных своими научными разработками, новыми сортами, монографиями и публикациями по садоводству. Имя А. Н. Столбова попало на страницы этого издания. И это было вполне заслуженно: Алексей Николаевич до последних дней жизни не покидал студенческую аудиторию. Его лекции, дипломные работы и кандидатские диссертации, выполненные под его руководством, с благодарностью вспоминают многие ученики.

Тернистый, научный путь Алексея начинался с должности младшего научного сотрудника Кировской областной станции имени Н. В. Рудницкого (ныне ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого). В 1956 году заканчивает заочное отделение агрономического факультета Кировского сельскохозяйственного института.

Особенно насыщенным стал период 1960–1970-х годов, когда А. Н. Столбов активно работал в научной и административной сфере на областной сельскохозяйственной опытной станции в посёлке Просница Кирово-Чепецкого района.

В 1968 году он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Пути совершенствования технологии выращивания саженцев в условиях Кировской области». Наряду с другими исследователями А. Н. Столбов доказывал возможность развития садоводства в северных регионах. Его имя прочно связано с понятием «сад будущего». Ярким примером служит учебно-опытное хозяйство Кировского сельскохозяйственного института, которым он руководил с 1972 по 1984 год. На площади 8 гектаров был заложен опытный сад, в котором проходила учебная практика по плодоводству со студентами агрономического факультета (рисунок 2). В саду были собраны и испытаны различные плодовые и ягодные культуры: земляника, облепиха, маточники вишни и ягодных кустарников. Кроме того, были посажены персики и абрикосы, а коллекция яблонь насчитывала 80 сортов. Яблони были привиты на семенных и клоновых подвоях, имелись опытные участки с промежуточными (интеркалярными) вставочными подвоями [2].



Рисунок 2. Столбов А. Н. со студентами во время учебной практики по плодоводству

Особый научный интерес представлял питомник стланцевых яблонь на слаборослых клоновых подвоях.

Большую часть научного пути у Алексея Николаевича было направлено на создание технологии возделывания низкорослых интенсивных яблоневых садов с использованием слаборослых подвоев, полученных из г. Мичуринска, а также на изучение деревьев яблони в стланцево-кустовидной форме. В публикациях А. Н. Столбова зачастую звучали фразы: изучение подвоев яблони, приёмы повышения выхода саженцев, обрезка корневой системы, экономическая эффективность сортов яблони – всё это составляло основу его научных интересов [2–7].

В январе 2006 г. Алексей Николаевич скончался. По воспоминаниям сына Алексея Николаевича, уже на третий день после кончины, черенки яблони, оставленные на подоконнике в его квартире без воды, неожиданно распустились и зацвели. Этот трогательный эпизод, подтверждённый и другими родственниками, как будто символизировал неразрывную связь Алексея Николаевича с любимым делом и его жизненную преданность садоводству.

Жизненное кредо А. Н. Столбова звучало просто и ёмко: «Раньше встанешь – больше успеешь». Этому принципу он следовал всю жизнь, успевая многое и неизменно оставаясь верным садоводству и родному сельскохозяйственному институту (ныне Вятский государственный агротехнологический университет).

За успехи в научном труде Алексей Николаевич был награжден: орденами «Знак Почёта» и Трудового Красного Знамени, бронзовой медалью ВДНХ, значком «Отличник сельскохозяйственного производства» и множеством грамот. За участие в Великой Отечественной войне – орденом Отечественной войны II степени и медалями. Пожалуй, самая высокая награда – это присвоение почётного звания «Заслуженный агроном РСФСР» в 1977 году.

Алексей Николаевич и его жена Августа Васильевна воспитали двоих сыновей и дочь. Трагически погиб один из сыновей, рано ушла из жизни супруга Алексея Николаевича при его жизни. Любимое дело, служение отечественному садоводству и оптимизм жили вместе с ним до последних дней.

Список источников

1. Головизнина Н. П. Сады цвели всегда. URL: https://herzenlib.ru/almanac/number/detail.php?NUMBER=number33&ELEMENT=gerzenka33_4_3 (дата обращения: 16.09.2026).
2. Ренгартен Г. А., Сорокопудов В. Н. Актуальные проблемы развития садоводства на Северо-Востоке России // Земля. 2019. С. 40–44.
3. Ренгартен Г. А. Целесообразность внедрения интенсивного садоводства в Нечерноземной зоне России // Мелиорация почв для устойчивого развития сельского хозяйства : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения профессора Александра Филипповича Тимофеева. Киров, 2024. С. 244–251.
4. Седов Е. Н., Красова Н. Г., Серова З. М. Интенсивные безопорные сады яблони с использованием слаборослых вставочных подвоев // Субтропическое и декоративное садоводство. 2014. № 51. С. 230–235.
5. Туткин Г. А., Седов Е. Н., Муравьев А. А. Продуктивность иммунных к парше сортов яблони в экстенсивных и интенсивных садах // Селекция, генетика и сортовая агротехника плодовых культур : сборник научных статей. Орёл, 2009. С. 14–19.
6. Туткин Г. А., Седов Е. Н., Муравьев А. А. Создание интенсивных садов яблони с использованием карликовых вставочных подвоев и иммунных к парше сортов // Сельскохозяйственная биология. 2009. Т. 44, № 3. С. 24–28.
7. Туткин Г. А., Макаркина М. А. Биохимическая оценка плодов иммунных к парше сортов яблони в зависимости от подвоя // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2009. № 3 (18). С. 38–40.

References

1. Goloviznina NP. Sady tsveli vsegda = Gardens always bloomed. URL: https://herzenlib.ru/almanac/number/detail.php?NUMBER=number33&ELEMENT=gerzenka33_4_3 [Accessed 16 September 2026]. (In Russ.).
2. Rengarten GA, Sorokopudov VN. Current issues in the development of horticulture in Northeast Russia. Zemlya. 2019:40–44. (In Russ.).
3. Rengarten GA. Tselesoobraznost' vnedreniya intensivnogo sadovodstva v Nechernozemnoy zone Rossii = Feasibility of implementing intensive fruit growing in the Non-Chernozem zone of Russia. In: Melioratsiya pochv dlya ustoychivogo razvitiya sel'skogo khozyaystva. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu so dnya rozhdeniya professora Aleksandra Filippovicha Timofeyeva = Soil reclamation for sustainable agricultural development. Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 105th anniversary of the birth of professor Alexander Filippovich Timofeev. Kirov; 2024. P. 244–251. (In Russ.).
4. Sedov EN, Krasova NG, Serova ZM. Intensive free-standing apple orchards using dwarfing interstocks, Subtropicheskoye i dekorativnoye sadovodstvo. 2014;(51):230–235. (In Russ.).
5. Tutkin GA, Sedov EN, Muravyov AA. Produktivnost' immunnykh k parshe sortov yablони v ekstensivnykh i intensivnykh sadakh = Productivity of apple tree varieties immune to scab in extensive and intensive orchards. In: Selektziya, genetika i sortovaya agrotehnika plodovykh kul'tur. Sbornik nauchnykh statey = Breeding, genetics and varietal agricultural technology of fruit crops. Collection of scientific articles. Orel; 2009. P. 14–19. (In Russ.).

6. Tutkin GA, Sedov EN, Muravyov AA. Creation of intensive apple orchards using dwarf intercalary rootstocks and varieties immune to scab. Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. 2009;44(3):24–28. (In Russ.).
7. Tutkin GA, Makarkina MA. Biochemical evaluation of fruit from scab-immune apple cultivars depending on the rootstock. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2009;(3):38–40. (In Russ.).

Информация об авторах

Ренгартен Григорий Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой почвоведения, землеустройства и растениеводства, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017
e-mail: rengarten.g@gmail.com

Черемисинов Михаил Витальевич, кандидат сельскохозяйственных, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой агробиотехнологии, ландшафтной архитектуры и пищевых производств, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017
e-mail: cheremisinov.mv@yandex.ru

Information about the author

Rengarten Grigory Anatolyevich, candidate of agricultural sciences, associate professor, acting head of the Department of Soil Science, Land Management, and Crop Production, Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrsky Prospekt, Kirov, 610017, the Russian Federation
e-mail: rengarten.g@gmail.com

Cheremisinov Mikhail Vitalievich, candidate of agricultural sciences, associate professor, acting Head of the Department of Agrobiotechnology, Landscape Architecture, and Food Production, Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrsky Prospekt, Kirov, 610017, the Russian Federation
e-mail: cheremisinov.mv@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received	17.09.2026
одобрена после рецензирования / approved after reviewing	22.09.2026
принята к публикации / accepted for publication	24.09.2026

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

К статьям, направляемым в редакцию журнала «Вестник Вятского ГАТУ», предъявляются следующие требования:

1. К публикации принимаются статьи на русском языке объемом не менее 5 и не более 10 страниц.

2. Оригинальность текста должна составлять не менее 70 %.

3. Статья не должна быть ранее опубликована, а также не должна быть представлена для рассмотрения к публикации в другом издании.

4. Основной текст статьи должен быть структурирован и включать следующие разделы: введение, материалы и методы, результаты и обсуждения, заключение.

5. Статьи принимаются в электронном виде в формате .doc или .docx с выставлением следующих параметров:

- формат листа – А4;
- ориентация листа – книжная;
- поля – 2 см;
- шрифт Times New Roman;
- размер – 12 пунктов;
- межстрочный интервал – 1,0;
- выравнивание текста – по ширине;
- абзацный отступ – 1,25 см;
- автоматический перенос слов не допускается.

6. В соответствии с ГОСТ Р 7.0.7-2021 элементы статьи располагаются в следующем порядке:

6.1. В верхнем левом углу первой страницы текста указывается тип статьи – научная статья, обзорная статья, редакционная статья, дискуссионная статья, персоналии, редакторская заметка, рецензия на монографию, статью и т.п.

6.2. Следующей строкой после типа статьи по левому краю указывается код УДК (классификация приведена на сайте <http://teacode.com/online/udc/>).

6.3. Через одну строку по центру страницы прописными буквами с применением полужирного начертания (далее – жирный шрифт) одинарным интервалом указывается заголовок статьи на русском языке. Если статья разбита на части, у каждой части указывается общий заголовок, номер и при наличии частное заглавие.

6.4. После заголовка статьи указываются основные сведения об авторе/авторах:

- Имя, Отчество, Фамилия автора/авторов полностью на русском языке (строчные буквы, жирный шрифт, выравнивание по левому краю);
- наименование организации (без указания организационно-правовой формы и без кавычек), являющейся местом работы (учёбы) автора, с указанием через запятую города и страны (выравнивание по левому краю). Если место работы или учёбы авторов различается, то информация повторяется для каждого автора.
- контактная информация автора (адрес электронной почты). Если авторов несколько, целесообразно указать e-mail одного из авторов, который будет отвечать за переписку (автор, ответственный за переписку).

6.5. Через одну строку после сведений об авторе/авторах приводится аннотация статьи (не более 250 слов). Аннотация должна содержать сведения об основной идее и цели исследования, описывать полученные результаты, включать основные выводы.

6.6. После аннотации приводятся ключевые слова, отражающие основное содержание статьи, соответствующие предметной и терминологической области (3-15 слов или словосочетаний). Не допускается использование обобщённых и многозначных слов, словосочетаний с причастными оборотами. Оформляются через запятую, без точки в конце.

6.7. После ключевых слов в следующей строке приводится информация о финансировании подготовки и публикации статьи.

6.8. Указанная выше информация (название статьи, сведения об авторе/авторах, аннотация, ключевые слова, финансирование) через пустую строку дублируется на английском языке.

6.9. Основной текст статьи может быть структурирован и состоять из следующих частей:

- введение;
- текст статьи (с выделением разделов «Материалы и методы», «Результаты», «Обсуждение» и др.);
- заключение.

Допускается деление основного текста статьи на тематические рубрики и подрубрики.

6.9.1. *Оформление рисунков.* Рисунки могут быть выполнены в черно-белом и цветном исполнении средствами компьютерной графики. Допускаются импортированные рисунки только в формате .jpg. Рисунки размещаются непосредственно в тексте статьи без обтекания текстом исходя из логики изложения. Рисунки должны иметь заголовок, расположенный внизу рисунка. Оформление заголовка: шрифт Times New Roman, полужирный, 12 пт, межстрочный интервал – 1,0, выравнивание по центру. На все рисунки должны быть даны ссылки в тексте статьи. От текста рисунок отделяется сверху и снизу пустой строкой.

6.9.2. *Оформление таблиц.* Таблицы выполняются в чернобелом исполнении. Все таблицы должны быть пронумерованы (таблица 1, таблица 2 и т.д.) и иметь заголовок, расположенный вверху таблицы. Оформление заголовка: шрифт Times New Roman, полужирный, 12 пт, межстрочный интервал – 1,0, выравнивание по центру. Ссылки на таблицы в тексте обязательны. Оформление текста в таблице: шрифт Times New Roman, 10 пт, межстрочный интервал – 1,0. От текста таблица отделяется сверху и снизу пустой строкой.

6.9.3. *Оформление формул.* Уравнения и формулы следует набирать с использованием штатного плагина Microsoft Equation. Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не помещается на одной строке, то оно должно быть перенесено после математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяют. Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они даны в формуле. Формулы следует нумеровать порядковой нумерацией в пределах всей статьи арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке. Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в круглых скобках.

6.10. После основного текста статьи приводится список источников на русском и английском языках. В конце статьи помещается список источников, который оформляется в соответствии с требованиями Национального стандарта РФ ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Источники нумеруются и располагаются в порядке цитирования в тексте. При ссылке на источник в тексте статьи приводится его порядковый номер в квадратных скобках. В списке источников должно быть 12-15 наименований. При этом доля самоцитирований, а также ссылок на работы одного автора не должна превышать 25 % от общего количества ссылок. Список процитированных источников на английском языке (References) располагается через пробел после списка источников на русском языке. Переводить необходимо только русскоязычные источники, а иностранные источники привести в соответствие с адаптированным вариантом Ванкуверского стиля цитирования (Vancouver Style).

6.11. После списка источников приводятся дополнительные сведения об авторе/авторах на русском и английском языках: ФИО, учёная степень, учёное звание, место работы и должность, адрес электронной почты.

6.12. Указывается отсутствие или наличие конфликта интересов.