

ISSN 2077-2084

10.36508/RSATU.2025.24.41.001

12+

Том 17, №4, '2025

ВЕСТНИК

**РЯЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ
П.А. КОСТЫЧЕВА**



**ВЕСТНИК
РЯЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени П.А. КОСТЫЧЕВА**

Входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки

- 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)**
- 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)**
- 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (сельскохозяйственные науки)**
- 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки)**
- 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)**
- 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (биологические 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)**
- 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (биологические науки)**
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)**
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (сельскохозяйственные науки)**
- 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)**

Научно-производственный журнал

Издается с 2009 года
Выходит один раз в квартал
Том 17, №4, 2025

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева»

СОСТАВ

редакционной коллегии и редакции журнала «Вестник РГАТУ»

Главный редактор
С.Н. Борычев,
д-р техн. наук, профессор

Заместитель
главного редактора
Г.К. Рембалович,
д-р техн. наук, профессор

Технический редактор
И.В. Чивилева,
канд. психол. наук, доцент

Члены редакционной коллегии:

О.Н. Дидманидзе, д-р техн. наук, профессор, академик РАН

А.С. Дорохов, д-р техн. наук, профессор, академик РАН

Я.П. Лобачевский, д-р техн. наук, профессор, академик РАН

Ю.Х. Шогенов, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, академик РАН

Н.Г. Байбобоев, д-р техн. наук, профессор
С.Н. Борычев, д-р техн. наук, профессор
Д.В. Виноградов, д-р биол. наук, профессор
М.А. Габиров, д-р с.-х. наук, профессор
Г.В. Гавардашвили, д-р техн. наук, профессор
П.П. Гамаюнов, д-р техн. наук, профессор
В.И. Желязко, д-р с.-х. наук, профессор
О.А. Захарова, д-р с.-х. наук, доцент
В.В. Калашников, д-р с.-х. наук, профессор
Е.А. Калашникова, д-р биол. наук, профессор
Д.Е. Каширин, д-р техн. наук, доцент
Л.Г. Каширина, д-р биол. наук, профессор
С.С. Козак, д-р биол. наук, профессор
А.А. Коровушкин, д-р биол. наук, профессор
М.Ю. Костенко, д-р техн. наук, профессор
В.И. Левин, д-р с.-х. наук, профессор
Н.В. Лимаренко, д-р техн. наук, профессор
Е.И. Лупова, д-р с.-х. наук, доцент
Ю.А. Мажайский, д-р с.-х. наук, профессор
В.П. Максименко, д-р с.-х. наук, профессор
Н.И. Морозова, д-р с.-х. наук, профессор
Ф.А. Мусаев, д-р с.-х. наук, профессор
М.Г. Мустафаев, д-р аграрных наук, доцент

А.И. Новак, д-р биол. наук, профессор
М.Д. Новак, д-р биол. наук, профессор
Г.В. Ольгаренко, д-р с.-х. наук, профессор
Г.К. Рембалович, д-р техн. наук, профессор
А.И. Рязанцев, д-р техн. наук, профессор
А.П. Савельев, д-р техн. наук, профессор
О.В. Савина, д-р с.-х. наук, профессор
В.Г. Семенов, д-р биол. наук, профессор
А.А. Симдянкин, д-р техн. наук, профессор
О.И. Соловьева, д-р с.-х. наук, профессор
В.И. Старовойтов, д-р техн. наук, профессор
О.А. Старовойтова, д-р с.-х. наук
Н.М. Троц, д-р с.-х. наук, профессор
И.А. Успенский, д-р техн. наук, профессор
Р.Н. Ушаков, д-р с.-х. наук, профессор
Д.И. Удавлив, д-р биол. наук, профессор
Л.А. Храброва, д-р с.-х. наук, профессор
М.Н. Чаткин, д-р техн. наук, профессор
А.Ф. Шевхужев, д-р с.-х. наук, профессор
А.В. Шемякин, д-р техн. наук, профессор
И.А. Юхин, д-р техн. наук, профессор
К.Н. Дрожжин, канд. с.-х. наук, доцент
О.А. Федосова, канд. биол. наук, доцент

Компьютерная верстка и дизайн – **Н.В. Симонова**

Корректор – **Е.Л. Малинина**

Перевод – **В.В. Романов, И.В. Чивилева**

Адрес редакции: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1,
ауд. 103, тел. 8(4912)34-30-27, e-mail: vestnik@rgatu.ru
Тираж 700. Первый завод 200. Заказ №1677
Дата выхода в свет 30.12.2025

Регистрационная запись СМИ ПИ № ФС77-51956, зарегистрировано
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций 29 ноября 2012 г.
Отпечатано в Издательстве ФГБОУ ВО РГАТУ. Адрес издательства,
типографии: г. Рязань, ул. Костычева, д. 1, ауд. 103. Цена издания 185 руб. 50 коп.
Подписной индекс издания в каталоге "Пресса России" 82422

HERALD OF RYAZAN STATE AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY Named after P.A. Kostychev

It is included in the list of peer-reviewed scientific publications, which should publish the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Science, for the degree of Doctor of Science, on scientific specialties and their respective branches of science:

- 4.1.1. General agriculture and plant growing (Agricultural Sciences)
- 4.1.3. Agrochemistry, agricultural science, plant protection and quarantine (Agricultural Sciences)
- 4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (Agricultural Sciences)
- 4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (Technical Sciences)
- 4.2.2. Sanitation, hygiene, ecology, veterinary-sanitary expertise and biosafety (Veterinary Sciences)
- 4.2.2. Sanitation, hygiene, ecology, veterinary-sanitary expertise and biosafety (Biological Sciences)
- 4.2.4. Private zootechnics, feeding, feed preparation and livestock production technologies (Agricultural Sciences)
- 4.2.5. Breeding, selection, genetics and biotechnology of animals (Agricultural Sciences)
- 4.2.5. Breeding, selection, genetics and animal biotechnology (Biological Sciences)
- 4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (Technical Sciences)
- 4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (Agricultural Sciences)
- 4.3.2. Electrical technologies, electrical equipment and power supply of the agro-industrial complex (Technical Sciences)

Scientific-Production Journal

Issued since 2009

Issued once a quarter

Vol. 17 # 4, 2025

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev"

"RSATU Herald" EDITORIAL STAFF

Editor in Chief

S.N. Borychev,

Doctor of Technical Sciences,
Full Professor

Editor in Chief Deputy

G.K. Rembalovich,

Doctor of Technical Sciences,
Full Professor

Technical Editor

I.V. Chivileva,

Candidate of Psychological Sciences,
Associate Professor

Editorial Staff:

O.N. Didmanidze, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the RAS

A.S. Dorokhov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the RAS

Ya.P. Lobachevsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the RAS

Yu.Kh. Shogenov, Doctor of Technical Sciences, senior researcher, Academician of the RAS

N.G. Baiboboev, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

S.N. Borychev, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

D.V. Vinogradov, Doctor of Biology Sciences, Full Professor

M.A. Gabibov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

G.V. Gavardashvili, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

P.P. Gamayunov, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

V.I. Zhelyazko, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

O.A. Zakharova, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

V.V. Kalashnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

E.A. Kalashnikova, Doctor of Biological Sciences, Full Professor

D.E. Kashirin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

L.G. Kashirina, Doctor of Biological Sciences, Full Professor

S.S. Kozak, Doctor of Biological Sciences, Full Professor

A.A. Korovushkin, Doctor of Biological Sciences, Full Professor

M.Yu. Kostenko, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

V.I. Levin, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

N.V. Limarenko, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

E.I. Lupova, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

Yu. A. Mazhaysky, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

V.P. Maksimenko, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

N.I. Morozova, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

F.A. Musaev, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

M.G. Mustafayev, Doctor of Agrarian Sciences, Associate Professor

A.I. Novak, Doctor of Biological Sciences, Full Professor

M.D. Novak, Doctor of Biological Sciences, Full Professor

G.V. Olgarenko, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

G.K. Rembalovich, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

A.I. Ryazantsev, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

A.P. Saveliev, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

O.V. Savina, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

V.G. Semenov, Doctor of Biological Sciences, Full Professor

A.A. Simdyankin, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

O.I. Solovyeva, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

V.I. Starovoitov, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

O.A. Starovoitova, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

N.M. Trots, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

D.I. Udavliev, Doctor of Biological Sciences, Full Professor

I.A. Uspenskiy, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

R.N. Ushakov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

L.A. Khrabrova, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

M.N. Chatkin, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

A.F. Shevkhuzhev, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor

A.V. Shemyakin, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

I.A. Yukhin, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

K.N. Drozhzhin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

O.A. Fedosova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Computer-Aided Makeup and Design – **N.V. Simonova**

Proof-Reader – **E.L. Malinina**

Translation – **V.V. Romanov, I.V. Chivileva**

Editorial address: 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1, 103 room,
tel: 8(4912)34-30-27, e-mail: vestnik@rgatu.ru
Circulation 700. The first factory is 200.
Order No.1677
Date of publication. 30.12.2025

A record CMI PI № FS77-51956, registered by the Federal service for supervision in the spherical of communications, information technology and public communications on November 29, 2012
Printed in the Publishing house of the RGATU. Address of the publishing house, printing house:
Ryazan, Kostycheva str., 1, room 103. the price of the publication is 185 rubles. 50 kopecks. Subscription index of the publication in the katologue "Press of Russia" 82422



Содержание

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

| | |
|---|-----|
| Быстрова И. Ю., Герасимов А. А., Политова М. А., Никитина С. В., Горичев А. Л. Сравнительный анализ специализированных мясных пород крупного рогатого скота британского происхождения в России | 5 |
| Евсенина М.В. Урожайность и качество семян сои и гороха в зависимости от дозы применения агрохимиката Ультрамаг Комби | 13 |
| Есаулова Л.А., Васильев А.А., Артемов Е.С. Оценка влияния биологического консерванта отечественного производства на качество кукурузного силоса | 22 |
| Исмагилов К.Р., Давлетшин И.Д. Изменение агроклиматических ресурсов и урожайность пшеницы яровой в условиях северо-восточного региона Башкортостана | 32 |
| Колесникова Т.А., Куликова М.А. Оптимизация химической коагуляции свиного навоза при получении органоминерального удобрения | 39 |
| Косыгина (Свиридова), Л.Л., Жемчужина Н.С. Влияние почвенного состава на выживаемость растений в условиях патогенной нагрузки | 48 |
| Кучер О.Г., Машкова Е.И., Захарова О.А. Прогнозирование надоев и содержания белка в молоке коров джерсейской породы методом математического моделирования | 58 |
| Куликова Е.Г., Чугуров Р.Г., Бирюков И.В. Получение оздоровленного посадочного материала картофеля в условиях Пензенской области | 69 |
| Мажайский Ю.А., Арганистова З.Ю., Гусева Т.М. Первичная оценка экологического состояния водного объекта биологическим методом | 76 |
| Уливанова Г.В., Щербакова И.В., Карелина О.А., Федосова О.А., Романов К.И. Биохимический статус крови молодняка крупного рогатого скота в зависимости от клинического состояния | 84 |
| Федотова А.С., Жигарев А.А. Гематологические показатели при субклиническом тритиевом воздействии на организм кроликов | 94 |
| Филиппов Д.И., Праведина Е.Н., Виноградов Д.В., Молочное животноводство в Рязанской области: текущее состояние и перспективы развития | 104 |

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

| | |
|--|-----|
| Богданчиков И.Ю., Бачурин А.Н., Олейник Д.О., Есенин М.А., Юдина А.В. Применение цифровых технологий для оптимизации работы машинно-тракторных агрегатов | 110 |
| Дидманидзе О.Н., Бугаев А.В., Абдулмажидов Х.А. Разработка конструкции, прочностные расчеты и оптимизация формы лапы культиватора в системе Inventor Pro | 117 |
| Жбанов Н.С. Разработка технологии упрочнения поверхности металлических замков модернизированного сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин ионной имплантацией бором | 125 |
| Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Безносюк Р.В., Фадькин Г.Н., Калинин А.В. Применение электростатического поля для стимуляции выгонки пера лука на зелень | 133 |
| Костенко М.Ю., Салапин И.М., Чаткин М.Н. Оценка качества протравливания семян в баббанном смесителе | 141 |
| Кутырёв А.И. Разработка интеллектуальной системы картирования и прогнозирования урожайности плодового сада с использованием методов машинного обучения | 151 |
| Олейник Д.О., Богданчиков И.Ю., Бачурин А.Н., Есенин М.А., Кутейникова А.П. Расчет норм выброса компонентов отработавших газов при выполнении сельскохозяйственных механизированных работ | 162 |
| Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Рембалович Г.К. Энергосбережение ходовой части электрифицированных дождевальных машин | 170 |
| Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Петухов С.Н. Разработка модуля для внутрпочвенного внесения гидрогеля | 178 |
| Старовойтов С.В., Кондакова Н.В., Успенский И.А., Онкаев В.А., Щуцкая Е.Е. Повышение качества микроклимата и оборотных вод рефрижераторного вагона по перевозке живой рыбы | 182 |
| Фадеев И.В. Использование водно-топливных эмульсий в двигателях современных автомобилей | 189 |



Content

AGRICULTURAL SCIENCES

| | |
|--|-----|
| Bystrova I. Yu., Gerasimov A.A., Politova M.A., Nikitina S.V., Gorichev A.L. Comparative Analysis of Specialized Beef Cattle Breeds of British Origin in Russia | 5 |
| Evsenina M.V. Yield and quality of soybean and pea seeds depending on the application dose of the agrochemical Ultramag Combi | 13 |
| Esaulova L.A., Vasilyev A.A., Artemov E.S. Evaluation of the impact of domestic biological preservative on the quality of corn silage | 22 |
| Ismagilov K.R., Davletshin I.D. Changes in agroclimatic resources and spring wheat yields in the north-eastern region of Bashkortostan | 32 |
| Kolesnikova T.A., Kulikova M.A. Optimization of chemical coagulation of pig manure in the production of organomineral fertilizer | 39 |
| Kosygina (Sviridova), L.L., Zhemchuzhina N.S. Influence of soil composition on plant survival under conditions of pathogenic load | 48 |
| Kucher O.G., Mashkova E.I., Zakharova O.A. Forecasting milk yield and protein content in the milk of jersey cows using mathematical modeling | 58 |
| Kulikova E.G., Chugurov R.G., Biryukov I.V. Obtaining healthy potato planting material in the Penza Region | 69 |
| Mazhaysky Yu.A., Arganistova Z.Yu., Guseva T.M. Primary assessment of the ecological state of a water body using a biological method | 76 |
| Ulivanova G.V., Shcherbakova I.V., Karelina O.A., Fedosova O.A., Romanov K.I. Biochemical status of blood of young cattle of different clinical conditions | 84 |
| Fedotova A.S., Zhigarev A.A. Hematological indicators in subclinical tritium exposure to rabbits. | 94 |
| Filippov D.I., Pravdina E.N., Vinogradov D.V. Dairy animal husbandry in the ryazan region: current state and development prospects | 104 |

TECHNICAL SCIENCES

| | |
|--|-----|
| Bogdanchikov I.Yu., Bachurin A.N., Oleinik D.O., Yesenin M.A., Yudina A.V. Application of digital technologies to optimize operation of machine and tractor units | 110 |
| Didmanidze O.N., Bugaev A.V., Abdulmazhidov Kh.A. Design, strength, and shape optimization of the cultivator Share in Inventor Pro . | 117 |
| Zhbanov N.S. Development of technology for hardening the surface of metal locks of an upgraded separating elevator of potato harvesters by ion implantation with boron | 125 |
| Kostenko M.Yu., Rembalovich G.K., Beznosyuk R.V., Fadkin G.N., Kalinin A.V. Using an electrostatic field to stimulate forcing onion leaf for green | 133 |
| Kostenko M.Yu., Salapin I.M., Chatkin M.N. Evaluation of the quality of seed pickling in a drum mixer | 141 |
| Kutyrev A.I. Development of an intelligent system for mapping and forecasting orchard yields using machine learning methods | 151 |
| Oleinik D.O., Bogdanchikov I.Yu., Bachurin A.N., Yesenin M.A., Kuteynikova A.P. Calculation of emissions of exhaust Gas components during FARM mechanized works | 162 |
| Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Rembalovich G.K. Energy saving of the undercarriage of electrified sprinklers | 170 |
| Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Petukhov S.N. Development of a module for subsoil application of hydrogel | 178 |
| Starovoytov S.V., Kondakova N.V., Uspensky I.A., Onkaev V.A., Shchutskaya E.E. Improving the quality of the microclimate and circulating waters of a refrigerated truck for the transportation of live fish | 182 |
| Fadeev I.V. Using water-fuel emulsionS in modern car engines | 189 |



СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, № 4 с. 5-12
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, № 4. pp 5-12

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.2.033
DOI: 10.36508/RSATU.2025.32.13.002

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЯСНЫХ ПОРОД КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА БРИТАНСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В РОССИИ

Ирина Юрьевна Быстрова¹✉, Александр Александрович Герасимов², Марина Александровна Политова³, Светлана Вячеславовна Никитина⁴, Артем Леонидович Горичев⁵

¹ ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

^{2,3,4,5} Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», Московская область, Пушкинский район, поселок Лесные поляны, Россия

¹ ibystrova66@mail.ru

² a.gerasimov@vniiplem.ru

³ politova-marina@yandex.ru

⁴ Nikst@yandex.ru

⁵ zoo.gorichev@gmail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. На протяжении многих десятилетий импортный скот, адаптируясь к новым климатическим, кормовым и технологическим особенностям ведения мясного скотоводства в России, приобретал характерные особенности. Изучение этих показателей популяций крупного рогатого скота специализированных мясных пород британского происхождения было целью настоящих исследований.

Методология. Современные материалы по состоянию скота специализированных мясных пород британского происхождения в Российской Федерации изучались по специализированной литературе, информационным ресурсам, использованы результаты бонитировки мясного скота в Российской Федерации за 2024 год, научные, экономико-статистические публикации в открытой печати. Методологической основой исследований явились комплексный системный и аналитический подходы.

Результаты. Анализируя данные о состоянии взрослого скота и росте молодняка, установили влияние возраста матери, половой принадлежности теленка и породы на развитие до годовалого возраста. Исследования проведены на большом массиве данных о животных по ключевым показателям: живая масса при рождении, в 205 и 365 дней. Установлено увеличение живой массы телят при рождении с увеличением возраста матери у всех пород. Среди всех исследуемых пород наименьшие показатели живой массы были зафиксированы у галловейской породы у бычков при рождении, в возрасте 205 и 365 дней. В различных федеральных округах России установлены региональные особенности популяций.

Заключение. Данные могут быть учтены как при чистопородном разведении скота специализированных мясных пород британского происхождения в Российской Федерации, так и при их скрещивании для получения эффекта гетерозиса.

Ключевые слова: галловейская порода, абердин-ангусская порода, герефордская порода, живая масса, быки, коровы, телки, бычки

Для цитирования: Быстрова И.Ю., Герасимов А.А., Политова М.А., Никитина С.В., Горичев А. Л.



Сравнительный анализ специализированных мясных пород крупного рогатого скота британского происхождения в России // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №.4, С. 5-12, <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.32.13.002>

Original article

COMPARATIVE ANALYSIS OF SPECIALIZED BEEF CATTLE BREEDS OF BRITISH ORIGIN IN RUSSIA

I. Yu. Bystrova¹✉, A. A. Gerasimov², M. A. Politova³, S. V. Nikitina⁴, A. L. Gorichev⁵

¹ Ryazan State Agrotechnical University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia
^{2,3,4,5} FGBNU VNIIPlem, Russia

Abstract.

Problem and goal. Over the course of many decades, imported cattle have acquired specific characteristics as they adapted to the new climatic, feeding, and technological conditions of beef cattle farming in Russia. The purpose of this study was to examine these characteristics in populations of specialized British beef cattle breeds.

Methodology. Modern materials on the condition of specialized beef breeds of British origin in the Russian Federation were studied based on specialized literature, information resources, and the results of the 2024 beef cattle certification in the Russian Federation, as well as scientific, economic, and statistical publications in the open press. The research was based on a comprehensive, systematic, and analytical approach.

Results. The analysis of data on the condition of adult cattle and the growth of young animals revealed the influence of the mother's age, the calf's gender, and breed characteristics on development from birth to one year of age. The research was conducted on a large set of animal data. The studies were conducted on a large set of data on animals based on key indicators: live weight at birth, at 205 days, and at 365 days. It was found that the live weight of calves at birth increased with the age of the mother in all breeds. Among all the breeds studied, the lowest live weight was recorded in the Galloway breed of bulls at birth, at 205 days, and at 365 days. Regional characteristics of populations were established in various federal districts of Russia.

Conclusion. The data can be taken into account both in purebred breeding of cattle of specialized meat breeds of British origin in the Russian Federation, and in crossing of the above-mentioned breeds in order to obtain the effect of heterosis.

Key words: Galloway breed, Aberdeen Angus breed, Hereford breed, live weight, bulls, cows, heifers, calves

For citation: Bystrova I. Yu., Gerasimov A. A., Politova M. A., Nikitina S. V., Gorichev A. L. Comparative Analysis of Specialized Beef Cattle Breeds of British Origin in Russia // Herald of Ryazan State Agrotechnical University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 4, P. 5-12, <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.32.13.002>

Введение

В Российской Федерации племенной мясной скот представлен одиннадцатью породами и тремя внутривидовыми типами [1]. Среди наиболее многочисленных пород калмыцкая – 32,9 %, герефордская – 30,4 %, казахская белоголовая – 17,2 % и абердин-ангусская – 16 %. То есть две отечественные и две породы британского происхождения. В последние годы в России становится популярной галловейская порода, также британского происхождения [3, 4, 9, 10, 11].

Герефордский и абердин-ангусский скот был завезен в СССР еще в 1929-1932 гг. И в настоящее время хорошо изучен и адаптирован к нашим природно-климатическим, кормовым, технологическим условиям. Галловейская же порода впервые завозилась на территорию бывшего СССР в начале 60-х годов, главным образом в Казахстан, и не получила широкого распространения в различных регионах страны [2, 5].

В этой связи большой интерес представляет анализ информации за ряд лет о состоянии представителей вышеперечисленных пород, имеющих один регион происхождения, в различных природно-климатических зонах России, что очень важно

для племенных предприятий [6, 7, 8].

И еще один важный момент – это учет фактических показателей при скрещивании разных пород с целью получения эффекта гетерозиса, которым важно пользоваться в товарных хозяйствах, как инструментом повышения продуктивности без особых затрат.

Результаты исследований и их обсуждение

Специализированные мясные породы имеют выраженный мясной тип сложения (рис. 1). Половой диморфизм четко выражен. Наиболее тяжеловесными являются быки герефордской породы – 930 кг, несколько уступают по массе абердин-ангусские быки – 891 кг, существенно меньше по массе быки галловейской породы – 804 кг. По высоте в холке видимых различий между этими породами нет – 137-141 см (табл. 1).

По статистическим данным более, тяжеловесными коровами были представительницы абердин-ангусской породы – 645 кг, на 55 кг уступали им коровы герефордской породы (590 кг) и существенно меньше весили коровы галловейской породы – 527 кг.

При скрещивании различных пород между собой для практиков очень важно знать массу телят



при рождении. Общеизвестно, что телята, рожденные от молодых коров 1-2-го отелов, легче своих сверстников, полученных от половозрелых коров. Поэтому анализ проводился в разрезе возраста коров-матерей, выраженного в отелах.

В герефордской породе максимальная живая масса при рождении отмечается у бычков, полученных от коров 3-го отела и старше, которая составила $28,6 \pm 0,02$ кг, минимальная – у бычков, полученных от первотелок – $28,0 \pm 18,0$ кг (табл. 2). При рождении живая масса бычков

абердин-ангусской породы независимо от возраста матери была практически одинаковой – $26,9 \pm 0,05$ кг от первотелок, $27,3 \pm 0,06$ кг – от коров второго отела и $27,4 \pm 0,04$ кг от половозрелых коров (рис. 2). Бычки галловейской породы при рождении существенно уступали по живой массе бычкам других британских пород. Бычки, полученные от молодых коров, имели массу $24,6 \pm 0,16$; $24,8 \pm 0,21$ кг, их сверстники, полученные от коров 3-го и последующих отелов – $26,7 \pm 0,14$ кг.



Рис. 1 – Фото из открытых интернет-источников (быки абердин-ангусской, герефордской, галловейской пород)

Fig. 1 – Photos from open Internet sources (bulls from Aberdeen Angus, Hereford and Galloway breeds)

Таблица 1 – Характеристика взрослого крупного рогатого скота британских мясных пород по живой массе и высоте в крестце [1]

| Порода | Быки в возрасте 5 лет и старше | | Коровы в возрасте 5 лет и старше | |
|-------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| | живая масса, кг | высота в крестце, см | живая масса, кг | высота в крестце, см |
| Абердин ангусская | 891 | 141 | 645 | 136 |
| Герефордская | 930 | 139 | 590 | 134 |
| Галловейская | 804 | 137 | 527 | 128 |

Таблица 2 – Живая масса бычков и телок специализированных мясных пород британского происхождения при рождении, кг

| Пол | № отела | n, гол | M ± m | Cv, % |
|-------------------------|------------|--------|----------------------|-------|
| Абердинангусская порода | | | | |
| Бычки | 1 | 10990 | $26,9 \pm 0,05$ | 21,0 |
| Бычки | 2 | 9177 | $27,3 \pm 0,06$ | 21,5 |
| Бычки | 3 и старше | 25815 | $27,4 \pm 0,04$ | 22,5 |
| Телки | 1 | 13305 | $24,9 \pm 0,03$ | 19,5 |
| Телки | 2 | 8946 | $25,1 \pm 0,04$ | 20,9 |
| Телки | 3 и старше | 25728 | $25,4 \pm 0,06$ | 21,3 |
| Герефордская порода | | | | |
| Бычки | 1 | 22 077 | $28,0 \pm 18,0$ | 18,0 |
| Бычки | 2 | 18 452 | $28,2 \pm 17,6$ | 17,6 |
| Бычки | 3 и старше | 60 533 | $28,6 \pm 0,02$ | 17,2 |
| Телки | 1 | 30 079 | $26,4 \pm 0,03$ | 17,4 |
| Телки | 2 | 21 047 | $26,6 \pm 0,03$ | 18,1 |
| Телки | 3 и старше | 60 664 | $27,0 \pm 0,02$ | 18,6 |
| Галловейская порода | | | | |
| Бычки | 1 | 504 | $24,6 \pm 0,16$ | 14,9 |
| Бычки | 2 | 387 | $24,8 \pm 0,21^{**}$ | 16,4 |
| Бычки | 3 и старше | 1087 | $26,7 \pm 0,14^{**}$ | 17,1 |
| Телки | 1 | 528 | $23,8 \pm 0,14$ | 13,2 |
| Телки | 2 | 403 | $24,3 \pm 0,18$ | 15,2 |
| Телки | 3 и старше | 1098 | $25,9 \pm 0,13$ | 17,0 |

Здесь и далее: * – $P \geq 0,95$, ** – $P \geq 0,99$, *** – $P \geq 0,999$

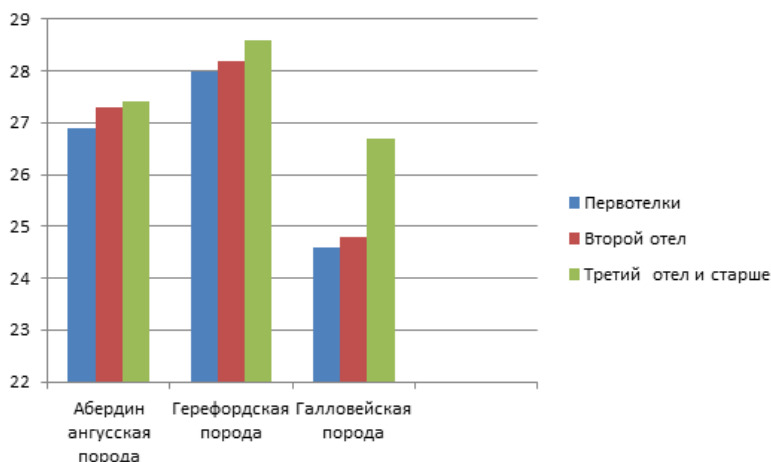


Рис. 2 – Живая масса бычков (кг) специализированных мясных пород британского происхождения при рождении

Fig. 2 – Live weight of bulls (kg) of specialized meat breeds of British origin at birth

Аналогичные результаты получены по группам телок (табл. 2, рис. 3). Наиболее тяжеловесными при рождении были телки герефордской породы, от молодых коров рождались массой $26,4 \pm 0,03$ – $26,6 \pm 0,03$ кг, от полновозрастных – $27,0 \pm 0,02$ кг. В абердин-ангусской породе меньшую живую массу имели телки, полученные от молодых коров – $24,9 \pm 0,03$ кг и

$25,1 \pm 0,04$ кг соответственно, в то время, как телки от полновозрастных коров имели массу $25,4 \pm 0,06$ кг при незначительной разнице. Самыми мелкими при рождении были телки галловейской породы, особенно от молодых коров – $23,8 \pm 0,14$ – $24,3 \pm 0,18$ кг. Масса телок от полновозрастных коров уже была сопоставима со сверстницами абердин-ангусской породы – $25,9 \pm 0,13$ кг.

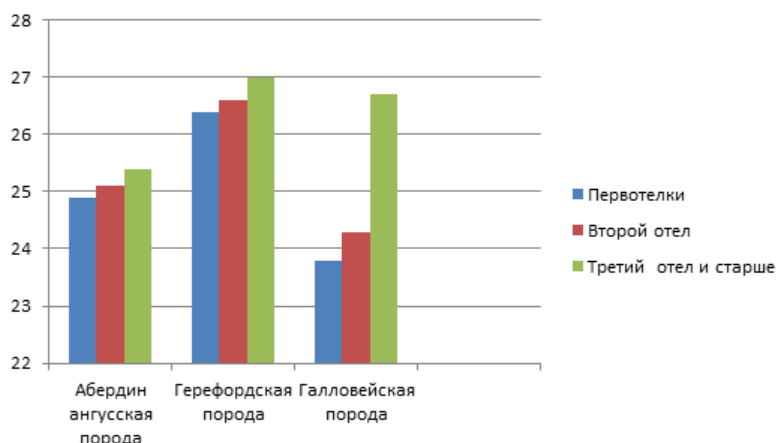


Рис. 3 – Живая масса телок (кг) специализированных мясных пород британского происхождения при рождении

Fig. 3 – Live weight of heifers (kg) of specialized meat breeds of British origin at birth

Материнские качества коров и интенсивность роста телят на подсосе характеризует показатель живой массы телят в возрасте 205 дней. Бычки абердин-ангусской породы по интенсивности роста не уступали бычкам герефордской породы, и к отъему их живые массы достоверно не различались. Так, бычки абердин-ангусской породы в этом

возрасте весили $184,9 \pm 0,40$ – $189,0 \pm 0,25$ кг от молодых коров и $191,7 \pm 0,40$ кг от полновозрастных коров, герефордской – $186,6 \pm 0,21$ – $187,8 \pm 0,22$ кг и $189,6 \pm 0,11$ кг соответственно (табл. 3, рис. 4). Бычки галловейской породы были значительно меньше сверстников других пород $171,6 \pm 1,44$ – $183,1 \pm 0,96$ кг.

Таблица 3 – Живая масса бычков и телок специализированных мясных пород британского происхождения в возрасте 205 дней, кг

| Пол | № отела | n, гол | M ± m | Cv, % |
|--------------------------|------------|--------|------------------|-------|
| Абердин-ангусская порода | | | | |
| Бычки | 1 | 8902 | $184,9 \pm 0,40$ | 20,2 |
| Бычки | 2 | 7702 | $189,0 \pm 0,25$ | 18,3 |
| Бычки | 3 и старше | 20735 | $191,7 \pm 0,40$ | 18,9 |
| Телки | 1 | 11470 | $182,3 \pm 0,24$ | 20,4 |
| Телки | 2 | 7529 | $187,1 \pm 0,42$ | 19,3 |
| Телки | 3 и старше | 21141 | $189,3 \pm 0,36$ | 18,9 |
| Герефордская порода | | | | |
| Бычки | 1 | 17 561 | $186,6 \pm 0,21$ | 15,3 |



| | | | | |
|---------------------|------------|--------|------------------------|------|
| Бычки | 2 | 14 967 | $187,8 \pm 0,22$ | 14,1 |
| Бычки | 3 и старше | 50 434 | $189,6 \pm 0,11$ | 13,5 |
| Телки | 1 | 25 291 | $184,3 \pm 0,22$ | 16,6 |
| Телки | 2 | 17 681 | $185,0 \pm 0,12$ | 15,7 |
| Телки | 3 и старше | 51 798 | $185,7 \pm 0,19$ | 15,1 |
| Галловейская порода | | | | |
| Бычки | 1 | 424 | $171,6 \pm 1,44^{**}$ | 17,2 |
| Бычки | 2 | 330 | $175,9 \pm 1,82^{**}$ | 18,8 |
| Бычки | 3 и старше | 949 | $183,1 \pm 0,96^{***}$ | 16,1 |
| Телки | 1 | 477 | $170,9 \pm 1,65^{**}$ | 21,1 |
| Телки | 2 | 352 | $173,9 \pm 1,63^{**}$ | 17,2 |
| Телки | 3 и старше | 962 | $177,7 \pm 1,18^{**}$ | 17,9 |

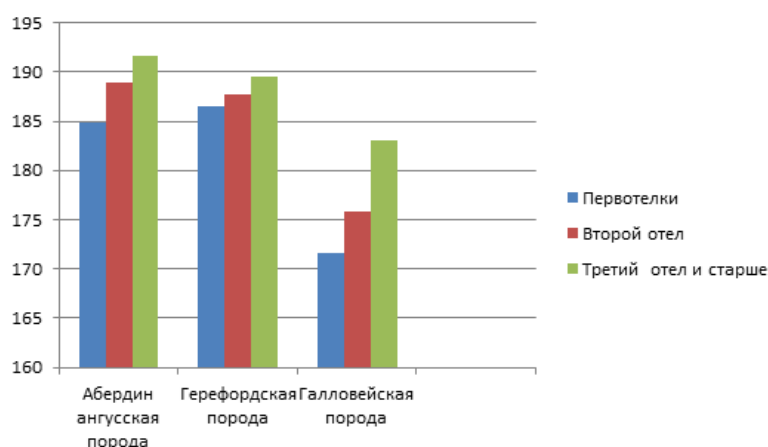


Рис. 4 – Живая масса бычков (кг) специализированных мясных пород британского происхождения в возрасте 205 дней

Fig. 4 – Live weight of bulls (kg) of specialized meat breeds of British origin at the age of 205 days

Такая же закономерность прослеживалась и по телкам (рис. 5, табл. 3). К моменту отъема телки абердин-ангусской породы и герефордской практически не различались по живой массе. Абердин-ангусские весили $182,3 \pm 0,24$ – $187,1 \pm 0,42$ кг от молодых коров и $189,3 \pm 0,36$ кг от полновозрастных; герефордские – $184,3 \pm 0,22$ – $185,0 \pm 0,12$ кг и $185,7 \pm 0,19$ кг соответственно. Галловейские телки уступали по живой массе вышеуказанным сверстницам – $170,9 \pm 1,65$ – $173,9 \pm 1,63$ кг и $177,7 \pm 1,18$ кг в зависимости от возраста матерей.

Живая масса бычков и телок анализируемых пород в возрасте 365 дней демонстрирует реализацию генетического потенциала к интенсивному

росту в создавшихся климатических, кормовых и технологических условиях. К возрасту 365 дней бычки абердин-ангусской породы практически догнали по живой массе бычков герефордской породы. Живая масса бычков от молодых коров составляла $293,2 \pm 0,99$ – $295,5 \pm 0,78$ кг, у герефордских – $307,9 \pm 0,68$ – $308,5 \pm 0,56$ кг; от полновозрастных коров – $309,0 \pm 1,12$ кг по абердинам и $311,9 \pm 0,36$ кг по герефордам (табл. 4, рис. 5). Галловейские бычки в этом возрасте были более легковесными, их масса составляла от молодых коров $259,1 \pm 1,44$ – $263,5 \pm 1,82$ кг, полновозрастных – $276,2 \pm 0,96$ кг.

Таблица 4 – Живая масса бычков и телок специализированных мясных пород британского происхождения в возрасте 365 дней, кг

| Пол | № отела | n, гол | M \pm m | Cv, % |
|--------------------------|------------|--------|------------------|-------|
| Абердин-ангусская порода | | | | |
| Бычки | 1 | 5101 | $293,2 \pm 0,99$ | 24,1 |
| Бычки | 2 | 3773 | $295,5 \pm 0,78$ | 22,3 |
| Бычки | 3 и старше | 9787 | $309,0 \pm 1,12$ | 26,3 |
| Телки | 1 | 9460 | $279,4 \pm 0,49$ | 19,4 |
| Телки | 2 | 5714 | $289,0 \pm 0,74$ | 19,3 |
| Телки | 3 и старше | 13839 | $291,7 \pm 0,58$ | 20,6 |



Продолжение таблицы 4

| Герефордская порода | | | | |
|---------------------|------------|--------|------------------------|------|
| Бычки | 1 | 9 049 | $308,5 \pm 0,56$ | 17,2 |
| Бычки | 2 | 7 285 | $307,9 \pm 0,68$ | 18,7 |
| Бычки | 3 и старше | 23 403 | $311,9 \pm 0,36$ | 17,4 |
| Телки | 1 | 20 185 | $282,3 \pm 15,0$ | 15,6 |
| Телки | 2 | 13 505 | $284,1 \pm 15,7$ | 15,7 |
| Телки | 3 и старше | 37 393 | $284,8 \pm 0,31$ | 15,0 |
| Галловейская порода | | | | |
| Бычки | 1 | 142 | $259,1 \pm 1,44^{***}$ | 19,1 |
| Бычки | 2 | 82 | $263,5 \pm 1,82^{***}$ | 16,4 |
| Бычки | 3 и старше | 249 | $276,2 \pm 0,96^{***}$ | 19,9 |
| Телки | 1 | 336 | $246,5 \pm 1,65^{***}$ | 14,8 |
| Телки | 2 | 192 | $247,0 \pm 1,63^{***}$ | 15,0 |
| Телки | 3 и старше | 367 | $252,8 \pm 1,87^{***}$ | 14,2 |

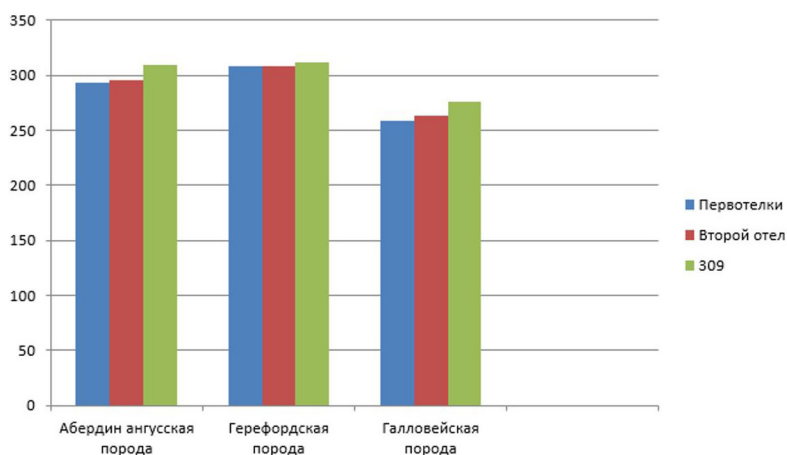


Рис. 5 – Живая масса бычков (кг) специализированных мясных пород британского происхождения в возрасте 365 дней

Fig. 5 – Live weight of bulls (kg) of specialized meat breeds of British origin at the age of 365 days

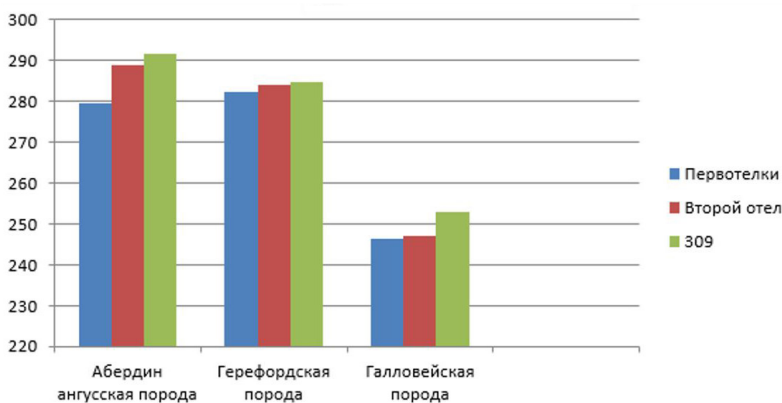


Рис. 6 – Живая масса телок (кг) специализированных мясных пород британского происхождения в возрасте 365 дней

Fig. 6 – Live weight of heifers (kg) of specialized beef breeds of British origin at the age of 365 days

По группам телок лидерами по живой массе были телки абердин-ангусской породы, полученные от полновозрастных коров – $291,7 \pm 0,58$ кг, уступали им по массе телки герефордской породы – $284,8 \pm 0,31$ кг, самые низкие значения живой массы были у телок галловейской породы – $252,8 \pm 1,87$ кг (табл. 4, рис. 6)

Заключение

Таким образом, в ходе анализа данных выявлены закономерности влияния возраста матери, пола теленка и породных особенностей на рост и развитие молодняка специализированного мясного скота пород британского происхождения от

рождения до годовалого возраста. Исследования проведены на большом массиве данных о животных, рожденных с 2015 года, по ключевым показателям: живая масса при рождении, в 205 и 365 дней. Установлено увеличение живой массы телят при рождении с возрастанием номера отела матери у всех пород. Среди всех исследуемых пород наименьшие показатели живой массы были зафиксированы у галловейской породы у бычков при рождении, в возрасте 205 и 365 дней.

Список источников

1. Ежегодник по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации



(2024 год) / ФГБНУ ВНИИплем. – Москва: Издательство, 2025. – 261 с.

2. Быстрова, И. Ю. Экстерьерные особенности скота галловейской породы в разных регионах России / И. Ю. Быстрова, А. А. Герасимов, М. А. Политова, С. В. Никитина, А. Л. Горичев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 2. – С. 13-19. – <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.21.65.003>

3. Максимчук, М. Г. Галловейская порода / М. Г. Максимчук, Г. А. Полуэктова // Молочное и мясное скотоводство. – 2023. – № 6. – С. 41.

4. Герасимов, А. А. Влияние породы и пола на рост телят специализированных мясных пород / А. А. Герасимов, И. Ю. Быстрова, М. А. Политова, С. В. Никитина, А. Л. Горичев, И. С. Бочаров // Зоотехния. – 2025. – № 11. – С. 23-25.

5. Галловейские коровы. – URL: <https://ogorodum.ru/gallovejskie-korovy.html> (дата обращения: 05.10.2023).

6. Дунин, И. М. Определение племенной ценности абердин-ангусского скота Российской Федерации по Методике Евразийского экономического союза / И. М. Дунин, А. А. Герасимов, С. В. Никитина, Е. А. Матвеева // Животноводство и кормопроизводство. – 2024. – Т. 107, № 3. – С. 24-27.

7. Никитина, С. В. Влияние сезона отела коров на продуктивные показатели потомства в мясном скотоводстве / С. В. Никитина, А. А. Герасимов, И. Ю. Быстрова, М. А. Политова, А. Л. Горичев, И. С.

Бочаров, О. Н. Луконина, С. Е. Тяпугин // Зоотехния. – 2025. – № 11. – С. 20-23.

8. Матвеева, Е. А. Характеристика молодняка герефордской породы при разных сроках отъема в условиях Пермского края / Е. А. Матвеева, С. В. Никитина, А. А. Герасимов, М. А. Политова // Животноводство Беларуси: вчера, сегодня, завтра : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» и 110-летию юбилею доктора сельскохозяйственных наук, профессора А. А. Гайко. – Минск: РУП «Издательский дом «Беларуская навука», 2024. – С. 41-46.

9. BRS-Empfehlung 4.1 für die Durchführung der Fleischleistungsprüfung beim Rind [Электронный ресурс] // Bundesverband Rind und Schwein e. V. – URL: <https://www.rind-schwein.de/brs-richtlinien-und-empfehlungen/fleischleistung-1.html> (дата обращения: 20.04.2023).

10. BRS-Empfehlung 4.2 für die Zuchtwertschätzung auf Fleischleistung von Bullen und Kühen [Электронный ресурс] // Bundesverband Rind und Schwein e. V. – URL: <http://rind-schwein.de> (дата обращения: 20.04.2023).

11. Zuchtprogramm fuer Rasse Galloway [Электронный ресурс] // Rinderzuchtverband Berlin-Brandenburg e.G. (RZB e.G.). – URL: <https://www.rinderzucht-bb.de/zucht/fleischrindzucht/zuchtprogramm-galloway-1833.html> (дата обращения: 25.04.2023).

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. *Ezhegodnik po plemennoy rabote v myasnom skotovodstve v khozyaystvakh Rossiyskoy Federatsii (2024 god)* / FGBNU VNIIPlem. – Moskva: Izdatelstvo, 2025. – 261 s.

2. Bystrova, I. Yu. Eksterernye osobennosti skota galloveyskoy porody v raznykh regionakh Rossii // I. Yu. Bystrova, A. A. Gerasimov, M. A. Politova, S. V. Nikitina, A. L. Gorichev // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P. A. Kostycheva. – 2025. – T. 17, № 2. – S. 13-19. – <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.21.65.003>

3. Maksimchuk, M. G. Galloveyskaya poroda / M. G. Maksimchuk, G. A. Poluektova // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. – 2023. – № 6. – S. 41.

4. Gerasimov A. A. Influence of breed and sex on the growth of calves of specialized meat breeds / A. A. Gerasimov, I. Yu. Bystrova, M. A. Politova, S. V. Nikitina, A. L. Gorichev, I. S. Bocharov // Zootechnics. – 2025. – No. 11. – Pp. 23-25

5. Galloveyskie korovy. – URL: <https://ogorodum.ru/gallovejskie-korovy.html> (data obrashcheniya: 05.10.2023).

6. Dunin, I. M. Opredelenie plemennoy tsennosti aberdin-angusskogo skota Rossiyskoy Federatsii po Metodike Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza / I. M. Dunin, A. A. Gerasimov, S. V. Nikitina, E. A. Matveeva // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. – 2024. – T. 107, № 3. – S. 24-27.

7. Nikitina, S. V. Influence of the calving season of cows on the productive indicators of offspring in beef cattle breeding / S. V. Nikitina, A. A. Gerasimov, I. Yu. Bystrova, M. A. Politova, A. L. Gorichev, I. S. Bocharov, O. N. Lukonina, S. E. Tyapugin // Zootechnics. – 2025. – No. 11. – Pp. 20-23.

8. Matveeva, E. A. Kharakteristika molodnyaka gerefordskoy porody pri raznykh srokakh otema v usloviyakh Permskogo kraya / E. A. Matveeva, S. V. Nikitina, A. A. Gerasimov, M. A. Politova // Zhivotnovodstvo Belarusi: vchera, segodnya, zavtra : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu RUP «Nauchno-prakticheskiy tsentr Natsionalnoy akademii nauk Belarusi po zhivotnovodstvu» i 110-letnemu yubileyu doktora selskokhozyaystvennykh nauk, professora A. A. Gayko. – Minsk: RUP «Izdatelskiy dom «Belaruskaya navuka», 2024. – S. 41-46.



9. BRS-Empfehlung 4.1 für die Durchführung der Fleischleistungsprüfung beim Rind [Elektronnyy resurs] // Bundesverband Rind und Schwein e. V. – URL: <https://www.rind-schwein.de/brs-richtlinien-und-empfehlungen/fleischleistung-1.html> (data obrashcheniya: 20.04.2023).

10. BRS-Empfehlung 4.2 für die Zuchtwertschätzung auf Fleischleistung von Bullen und Kühen [Elektronnyy resurs] // Bundesverband Rind und Schwein e. V. – URL: <http://rind-schwein.de> (data obrashcheniya: 20.04.2023).

11. Zuchtprogramm fuer Rasse Galloway [Elektronnyy resurs] // Rinderzuchtverband Berlin-Brandenburg e.G. (RZB e.G.). – URL: <https://www.rinderzucht-bb.de/zucht/fleischrindzucht/zuchtprogramm-galloway-1833.html> (data obrashcheniya: 25.04.2023).

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Быстрова Ирина Юрьевна, д-р с.-х. наук, профессор кафедры зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ibystrova66@mail.ru

Герасимов Александр Александрович, канд. с.-х. наук, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, a.gerasimov@vniiplem.ru

Политова Марина Александровна, канд. с.-х. наук, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, politova-marina@yandex.ru

Никитина Светлана Вячеславовна, ст. научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, Nikst@yandex.ru

Горичев Артем Леонидович, научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, zoo.gorichev@gmail.ru

Author information

Bystrova I.Y., Doctor of Agricultural Sciences, of the Department of Animal Science and Biology., «Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev»

Gerasimov A.A., Candidate of Agricultural Sciences, FGBNU VNIIPLEM

Politova M. A., Candidate of Agricultural Sciences, FGBNU VNIIPLEM

Nikitina S.V., Senior Researcher, FGBNU VNIIPLEM

Gorichev A. L., Research Associate, FGBNU VNIIPLEM

Статья поступила в редакцию 15.10.2025; одобрена после рецензирования 18.11.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 15.10.2025; approved after reviewing 18.11.2025; accepted for publication 15.12.2025





Вестник РГТУ, 2025, т.17, №4, с. 13-21
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №4, pp. 13-21

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.31/.37:631.811:631.816.31
DOI: 10.36508/RSATU.2025.92.19.003

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН СОИ И ГОРОХА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗЫ ПРИМЕНЕНИЯ АГРОХИМИКАТА УЛЬТРАМАГ КОМБИ

Марина Владимировна Евсенина

ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

marina.vlady@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Цель исследований – повышение урожайности и качества семян сои и гороха в условиях Рязанской области путем определения оптимальных доз агрохимиката Ультрамаг Комби марка: для бобовых при некорневых подкормках.

Методология. Исследования проводились в 2024-2025 годах в Рязанском районе на серой лесной тяжелосуглинистой почве. Объектами исследований выступили соя сорта Липчанка, горох сорта Донец и комплексное удобрение Ультрамаг Комби марка: для бобовых. Агротехника изучаемых культур общепринятая для Нечерноземной зоны. Способ посева рядовой с нормой высева сои 0,7 млн шт./га, гороха – 0,8 млн шт./га. Предшественник: пшеница озимая. Для наблюдений и учетов применялись стандартные методики. Урожай зерна учитывался сноповым методом после достижения полной спелости, очистки до 100 % и доведения до стандартной влажности.

Результаты. Применение агрохимиката Ультрамаг Комби марка: для бобовых в изучаемых дозах на посевах сои сорта Липчанка и гороха сорта Донец не повлияло на продолжительность мефазовых периодов. Более высокие растения относительно контроля были отмечены при некорневых подкормках удобрением в дозе 3,0 л/га. Растения гороха достигли высоты 70,8 см, растения сои – 80,5 см, что на 8,3 % и 8,2 % превышает контроль, соответственно. Более высокое прикрепление нижнего соцветия было отмечено на контрольных вариантах. На опытных посевах сои данный показатель меньше контроля на 0,4-1,1 см, гороха – на 2,2-5,4 см. Количество растений сои перед уборкой на опытных вариантах увеличилось на 5,2-13,5 %. Количество бобов на растении сои сорта Липчанка на 1,1-2,7 % превышает контроль. Количество выполненных семян в бобе на контрольном варианте составил 90,9 % от общего количества семян, на опытных вариантах он вырос до 91,7-96,2 %. При некорневых подкормках исследуемым агрохимикатом масса 1000 семян сои увеличилась на 1,2-2,4 % по сравнению с контролем. На опытных вариантах гороха, обработанных удобрением Ультрамаг Комби марка: для бобовых количество растений перед уборкой на 9,2-17,2 % превышает контроль. Количество бобов на растении гороха увеличилось на 3,2-7,9 % относительно контроля. Некорневые подкормки способствовали увеличению количества семян в бобе на опытных растениях гороха на 0,2-0,6 штук. Массовая доля выполненных семян в бобе опытных вариантов выросла до 77,1-78,4 % по сравнению с контролем (75,0 %). При листовых подкормках удобрением гороха масса 1000 семян опытных вариантов на 1,5-4,4 % больше контрольного значения. Максимальная достоверная прибавка урожая сои получена в опытном варианте с двукратной листовой подкормкой удобрением Ультрамаг Комби марка: для бобовых в дозе 3,0 л/га – 14,2 %. Максимальная прибавка урожайности гороха отмечена при той же дозе применения агрохимиката, она составила 14,7 % относительно контроля. В результате проведения некорневых подкормок в опытных вариантах было отмечено увеличение содержания белка на 0,2-0,5 %, жира – на 0,2-0,4 % относительно контроля. Содержание белка в зерне опытных вариантов гороха на 0,2-0,5 % выше контроля, среднее содержание сырого протеина повысилось на 2,9-4,2 г/кг.

Заключение. В ходе эксперимента было изучено влияние некорневых подкормок агрохимикатом Ультрамаг Комби марка: для бобовых в разных дозировках на урожайность зернобобовых культур. Установлено влияние удобрения на показатели урожайности сои сорта Липчанка и гороха сорта Донец в условиях Рязанской области.

Ключевые слова: соя, горох, некорневые подкормки, комплексное удобрение, урожайность

Для цитирования: Евсенина М.В. Урожайность и качество семян сои и гороха в зависимости от дозы применения агрохимиката Ультрамаг Комби // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.13-21, <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.92.19.003>



Original article

YIELD AND QUALITY OF SOYBEAN AND PEA SEEDS DEPENDING ON THE APPLICATION DOSE OF THE AGROCHEMICAL ULTRAMAG COMBI

Marina V. Evsenina

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

marina.vlady@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. The aim of the research was to increase the yield and quality of soybean and pea seeds in the Ryazan region by determining the optimal doses of the Ultramag Combi brand agrochemical for legumes with foliar feeding.

Methodology. The research was conducted in 2024-2025 in the Ryazan district on gray, heavy loamy forest soil. The subjects of the study were Lipchanka soybeans, Donetsk peas, and the Ultramag Combi brand complex fertilizer for legumes. The agricultural practices of the studied crops were generally accepted for the Non-Chernozem zone. The sowing method was row sowing with a seeding rate of 0.7 million units/ha for soybeans and 0.8 million units/ha for peas. The predecessor crop was winter wheat. Standard methods were used for observations and records. The grain yield was recorded by sheafing after reaching full maturity, cleaning to 100%, and adjusting to standard moisture content.

Results. Application of the Ultramag Combi brand agrochemical for legumes at the studied doses to Lipchanka soybean and Donetsk pea crops did not affect the duration of interphase periods. Taller plants relative to the control were noted after foliar fertilization with fertilizer at a dose of 3.0 l/ha. Pea plants reached a height of 70.8 cm, and soybean plants – 80.5 cm, which is 8.3% and 8.2% higher than the control, respectively. Higher attachment of the lower inflorescence was noted in the control variants. In the experimental soybean crops, this indicator is 0.4-1.1 cm lower than the control, and in the pea crops – 2.2-5.4 cm. The number of soybean plants before harvesting in the experimental variants increased by 5.2-13.5%. The number of beans per Lipchanka soybean plant exceeds the control by 1.1-2.7%. The number of full-fledged seeds per pod in the control variant was 90.9% of the total number of seeds, while in the experimental variants it increased to 91.7-96.2%. With foliar feeding with the studied agrochemical, the weight of 1000 soybean seeds increased by 1.2-2.4% compared to the control. In the experimental pea variants treated with Ultramag Combi fertilizer, the number of plants before harvesting was 9.2-17.2% higher than in the control. The number of pods per pea plant increased by 3.2-7.9% relative to the control. Foliar feeding contributed to an increase in the number of seeds per pod on the experimental pea plants by 0.2-0.6 pieces. The mass fraction of full-fledged seeds per pod in the experimental variants increased to 77.1-78.4% compared to the control (75.0%). With foliar application of pea fertilizer, the 1,000-seed weight of the experimental variants was 1.5-4.4% higher than the control value. The maximum reliable increase in soybean yield was obtained in the experimental variant with double foliar application of Ultramag Combi fertilizer: for legumes at a dose of 3.0 l/ha – 14.2%. The maximum increase in pea yield was noted with the same dose of agrochemical application, amounting to 14.7% relative to the control. As a result of foliar application in the experimental variants, an increase in protein content by 0.2-0.5% and fat content by 0.2-0.4% relative to the control was noted. The protein content in grain of the experimental pea variants was 0.2-0.5% higher than the control, and the average crude protein content increased by 2.9-4.2 g/kg.

Conclusion. The experiment examined the impact of foliar application of the agrochemical Ultramag Combi Marka for legumes at different doses on the yield of grain legumes. The fertilizer's impact on the yield of Lipchanka soybeans and Donetsk peas was determined in the Ryazan region.

Key words: soybeans, peas, foliar feeding, complex fertilizer, crop yield

For citation: Evsenina M.V. Yield and quality of soybean and pea seeds depending on the application dose of the agrochemical Ultramag Combi // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No. 4, P.13-26 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.92.19.003>

Введение

Зернобобовые культуры – ценный продукт питания и корм для животных, определяемый их питательной ценностью. Она зависит от количества и качества белка, углеводов, жиров, незаменимых аминокислот и того, насколько хорошо эти вещества усваиваются организмом [3].

Соя и люпин выделяются высоким содержанием белка. Чечевица, фасоль и горох также богаты

белком (от 25 % и выше), хотя и уступают лидерам. Соя также отличается высоким содержанием жира (18 %), что делает ее не только белковой, но и масличной культурой [5].

В Нечерноземье России, несмотря на сложные климатические условия (избыток влаги и нехватка тепла), традиционно культивируют зернобобовые культуры, включая горох, сою, рапс, люпин, вику и люцерну. Сельское хозяйство региона адаптирует-



ся к этим вызовам, активно внедряя новые, более устойчивые сорта и современные агротехнологии [8]. Это позволяет оптимизировать структуру посевных площадей и поддерживать стабильный интерес к зернобобовым, которые играют ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны [2].

В 2025 году ожидается значительный рост производства зернобобовых в Нечерноземье, особенно гороха, нута и чечевицы. Это обусловлено расширением посевных площадей и высоким рыночным спросом [7]. Прогнозы указывают на возможность достижения Россией объема производства зернобобовых до 7 млн тонн в 2025 году, что может сделать ее мировым лидером по экспорту желтого гороха [11]. Также ожидается укрепление экспортных позиций по нуту и чечевице, благодаря растущему спросу со стороны таких стран, как Индия, Пакистан и Египет. Позитивная тенденция подтверждается данными: в октябре 2025 года аграрии Центрального федерального округа (включая часть Нечерноземья) продемонстрировали рост продаж зернобобовых на 13,4 % по сравнению с предыдущим годом [15].

В первые месяцы после посева зернобобовые растут и развиваются медленнее, чем зерновые культуры. Из-за этого они хуже используют влагу, накопленную в почве за зиму и весну [18].

Общая особенность всех зернобобовых – способность усваивать азот из воздуха. Это происходит благодаря симбиозу с бактериями, живущими в клубеньках на корнях. Клубеньки формируются через 10-14 дней после прорастания.

Для эффективной азотфиксации необходимы железо, молибден, кобальт и фосфор. Важно помнить, что зернобобовые хорошо усваивают фосфор [9].

Удобрения, содержащие макро- и микроэлементы, оказывают значительное влияние на рост, развитие и способность растений усваивать азот. Фосфорные и калийные удобрения рекомендуются вносить при основной обработке почвы и при посеве [16]. Для культур с менее эффективной азотфиксацией (горох, белый люпин, фасоль, соя, нут, чина, чечевица) полезно применять азотные удобрения – перед посевом и в виде подкормок на ранних стадиях развития [6].

Некорневое питание является эффективным инструментом для увеличения урожайности зернобобовых культур [13]. Этот метод позволяет растениям быстрее и полнее усваивать необходимые питательные вещества непосредственно через листья. Результатом является увеличение количества бобов, семян и зеленой массы растения. Некорневые подкормки оперативно компенсируют недостаток минеральных элементов, что положительно сказывается как на количественных, так и на качественных показателях урожая (урожайности и содержании белка в зерне) [10].

Опубликованные исследования ученых демонстрируют существенный потенциал внекорневых подкормок для повышения урожайности зернобобовых культур, в том числе гороха и сои. Урожайность в среднем может возрасти на 6,2-11,5% в за-

висимости от препарата и стадии обработки [12]. Помимо увеличения урожайности, эти подкормки способствуют повышению белковости зерна. Стимулируя рост растений и увеличивая число плодоносящих узлов, листовые подкормки напрямую влияют на урожай. Они приводят к увеличению количества бобов и семян с одного растения, а также повышают их общую массу. Важным преимуществом является способность внекорневых подкормок быстро устранять дефицит микроэлементов, возникающий на определенных этапах развития, что недоступно для корневых подкормок [1].

Для максимальной эффективности листовые подкормки следует проводить утром или вечером, избегая полуденного солнца, чтобы обеспечить оптимальное поглощение питательных веществ листьями [14]. Важную роль играет фаза развития растения: обработка в период бутонизации показала более выраженный эффект по сравнению с фазой ветвления. Наилучшие результаты достигаются при комбинированном подходе, когда корневые подкормки обеспечивают основное питание, а листовые – оперативную коррекцию дефицита элементов [4].

Материалы и методы исследования

Полевые опыты были проведены в Рязанском районе в 2024-2025 гг. Повторность в опыте 4-кратная.

Почва опытных участков серая лесная тяжелосуглинистая с содержанием гумуса 2,79-3,38. Уровень pH солевой вытяжки – 5,22-5,41. Гидролитическая кислотность почвы 1,58-1,79 мг-экв. на 100 г. Сумма поглощенных оснований – 17,4-18,2 мг-экв. на 100 г почвы. Содержание фосфора в почве – 15,5-15,7 мг/100 г; калия – 12,7-13,1 мг/100 г.

Объектом исследований являлись соя сорта Липчанка и горох сорта Донец.

Опыт – двухфакторный, фактор А – культура (соя, горох), фактор В – доза агрохимиката.

Схема опыта включала следующие варианты: 1) контроль. Фон NPK (расчетная доза $N_{70}P_{55}K_{55}$); некорневые подкормки концентрированным комплексным жидким удобрением Ультрамаг Комби марка: для бобовых в дозе 2) 1,0 л/га; 3) 2,0 л/га и 4) 3,0 л/га при расходе рабочего раствора – 200 л/га.

Листовые подкормки проводили: в фазу 2-3 листьев и бутонизации.

Для опрыскивания растений использовали свежеприготовленный рабочий раствор, который наносили ранцевым опрыскивателем.

В опыте было изучено действие концентрированного комплексного жидкого удобрения для листовых подкормок Ультрамаг Комби марка: для бобовых.

Данный препарат предназначен для оперативного купирования дефицитных состояний и псевдодефицитов элементов питания, а также для оптимизации минерального питания растений. Сбалансированный комплекс микроэлементов в хелатной форме обеспечивает полное соответствие физиологическим потребностям бобовых культур. Жидкая препаративная форма гарантирует быстрое проникновение и максимальную био-



доступность питательных элементов. Листовые подкормки данным удобрением демонстрируют высокую эффективность в повышении содержания белка, увеличении урожайности и улучшении

органолептических характеристик сельскохозяйственной продукции (табл. 1).

Изготовителем агрохимиката Ультрамаг Комби является АО «Щелково Агрохим» (Россия).

Таблица 1 – Состав комплексного удобрения Ультрамаг Комби марка: для бобовых [17]

| Состав | % | г/л |
|-------------------------|-------|-------|
| Азот (N) общ. | 15,0 | 180,0 |
| Магний (MgO) | 2,0 | 24,0 |
| Сера (SO ₃) | 1,0 | 12,0 |
| Железо (Fe) | 0,3 | 3,6 |
| Марганец (Mn) | 0,4 | 4,8 |
| Цинк (Zn) | 0,3 | 3,6 |
| Медь (Cu) | 0,2 | 2,4 |
| Бор (B) | 0,5 | 6,0 |
| Молибден (Mo) | 0,003 | 0,036 |
| Титан (Ti) | 0,02 | 0,24 |
| Кобальт (Co) | 0,002 | 0,024 |

Эксперименты были организованы согласно рекомендациям, изложенным в методических указаниях Доспехова Б.А. (1985), и проводились на опытных делянках общей площадью 100 м², учетной – 50 м².

Агротехнические мероприятия и сроки их проведения общепринятые для Нечерноземной зоны.

Предшественник – пшеница озимая.

Посев сои и гороха осуществлялся в первой декаде мая рядовым способом.

Норма высева сои – 0,7 млн семян/га. Глубина заделки семян составляла 4-5 см. Норма высева гороха – 0,8 млн семян/га. Семена заделывались в почву на глубину 2-4 см.

Посев проводился сеялкой D9 6000-ТС «Combi» + МТЗ-1221.3. Прикатывание посевов ЗККШ-6 + МТЗ-82.1.

На протяжении вегетационного периода проводились мероприятия по защите посевов от сорняков, вредителей и болезней с применением пестицидов. Для подавления сорной растительности применялась комбинация гербицидов: Фуроре Ультра (0,5 л/га) и Агрошанс (0,8 л/га). Для кон-

троля численности вредителей использовался инсектицид Имидашанс Плюс в дозировке 0,15 л/га. Борьба с болезнями гороха осуществлялась препаратом Пропишанс Супер (0,5 л/га), сои – Пропишанс Универсал (0,5 л/га). Обработки проводились баковой смесью, расход рабочей жидкости составлял 250 л/га.

Способ уборки механизированный (прямое комбайнирование Сампо SR-2010) и ручную. Сроки уборки гороха пришлись на первую декаду августа, а сои – на первую декаду сентября.

Все проводимые наблюдения, учеты и анализы выполнялись самостоятельно, согласно утвержденным методикам и стандартам, в том числе Методике Государственного сортоиспытания (1989) и Руководству по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов (2018).

Результаты исследований и их обсуждение

Метеорологические условия 2024-2025 гг. характеризовались существенными колебаниями температуры. Осадки выпадали неравномерно, с частыми ливнями и грозами (рис. 1).

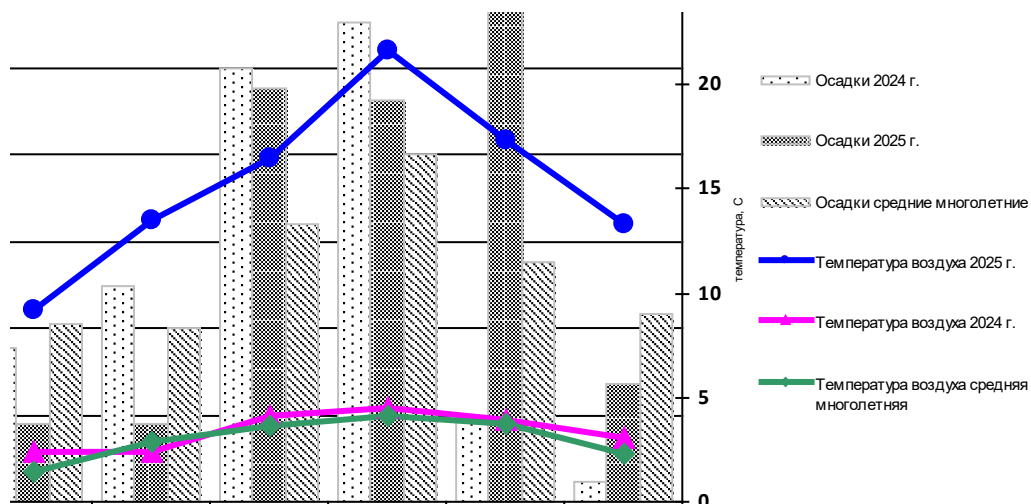


Рис. 1 – Погодные условия в опыте (2024-2025 гг.)
Fig. 1 – Weather conditions in the experiment (2024-2025)



Наблюдения за наступлением фенологических фаз развития изучаемых культур показали, что некорневые подкормки комплексным удобрением Ультрамаг Комби в изучаемых дозах не повлияли на продолжительность межфазовых периодов. Продолжительность отдельных фаз вегетации была практически одинакова, разница составила 1-3 дня.

Наблюдения за растениями гороха и сои в период вегетации показали, что обработки посевов

по вегетации удобрением Ультрамаг Комби оказали положительное влияние на фитосанитарное состояние посевов, повышали устойчивость растений к неблагоприятным условиям, таким как низкая температура, засуха и недостаток солнечного света.

Под воздействием удобрения активизировались ростовые процессы.

Биометрические показатели растений гороха и сои представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние комплексного удобрения Ультрамаг Комби марка: для бобовых на биометрические показатели зернобобовых культур (2024-2025 гг.)

| Вариант опыта | Высота растений, см | Высота прикрепления нижнего соцветия, см |
|---|---------------------|--|
| Соя сорта Липчанка | | |
| Контроль. Фон NPK | 74,4 | 13,2 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (1,0 л/га) | 76,8 | 12,8 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (2,0 л/га) | 77,9 | 12,5 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (3,0 л/га) | 80,5 | 12,1 |
| Горох сорта Донец | | |
| Контроль. Фон NPK | 65,4 | 24,2 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (1,0 л/га) | 67,6 | 23,6 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (2,0 л/га) | 68,1 | 23,3 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (3,0 л/га) | 70,8 | 23,1 |
| НСР ₀₅ , АВ, среднее | 6,93 | 1,16 |

В результате эксперимента растения сои в опытных вариантах продемонстрировали большую высоту по сравнению с контролем, варьирующуюся от 2,4 до 6,1 см. Высота прикрепления соцветий у опытных растений составляла 12,1-12,8 см, что на 0,4-1,1 см меньше, чем у контрольного варианта (13,2 см).

Обработка растений гороха удобрением Ультрамаг Комби марка: для бобовых при листовых подкормках привела к увеличению высоты растений на 2,2-5,4 см по сравнению с контролем. Высота прикрепления соцветий в опытных вариантах была незначительно ниже, чем в контрольном варианте, разница составила 0,6-1,1 см (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние комплексного удобрения Ультрамаг Комби марка: для бобовых на структуру урожая зернобобовых культур (2024-2025 гг.)

| Вариант опыта | Количество растений перед уборкой, шт./м² | Количество бобов на растении, шт. | Количество семян в бобе, шт. | | Масса 1000 семян, г |
|---|---|-----------------------------------|------------------------------|-------------|---------------------|
| | | | всего | выполненных | |
| Соя сорта Липчанка | | | | | |
| Контроль. Фон NPK | 42,1 | 18,3 | 2,2 | 2,0 | 146,8 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (1,0 л/га) | 44,3 | 18,5 | 2,4 | 2,2 | 148,5 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (2,0 л/га) | 45,9 | 18,6 | 2,5 | 2,4 | 149,2 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (3,0 л/га) | 47,8 | 18,8 | 2,6 | 2,5 | 150,3 |
| Горох сорта Донец | | | | | |
| Контроль. Фон NPK | 42,4 | 6,3 | 6,8 | 5,1 | 207,4 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (1,0 л/га) | 46,3 | 6,5 | 7,0 | 5,4 | 208,9 |



Продолжение таблицы 3

| | | | | | |
|---|------|------|------|------|-------|
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (2,0 л/га) | 48,1 | 6,6 | 7,2 | 5,6 | 209,5 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (3,0 л/га) | 49,7 | 6,8 | 7,4 | 5,8 | 211,8 |
| НСР ₀₅ , АВ, среднее | 5,15 | 0,49 | 0,42 | 0,39 | 3,34 |

Некорневые подкормки растений сои сорта Липчанка удобрением Ультрамаг Комби марка: для бобовых оказали положительное влияние на элементы структуры урожая.

Количество растений сои перед уборкой на контроле составило 42,1 шт/м². На опытных вариантах количество растений увеличилось на 5,2-13,5 %.

В контрольном варианте на растении в среднем было 18,3 штук бобов, при удобрении Ультрамаг Комби марка: для бобовых их количество составило до 18,5-18,8 штук на растение, что превышает контроль на 1,1-2,7 %.

Общее количество семян в бобе контрольного варианта было на уровне 2,2 штук. В опытных вариантах количество семян в бобе увеличилось на 0,2-0,4 штуки и составило 2,4-2,6 штук. Число выполненных семян составило 2,0-2,5 штуки. Количество выполненных семян в бобе на контрольном варианте составил 90,9 % от общего количества семян, на опытных вариантах он вырос до 91,7-96,2%.

Анализ массы 1000 семян установил отсутствие существенных различий по вариантам опыта. При некорневых подкормках исследуемым агрохимикатом масса 1000 семян сои увеличилась на 1,2-2,4 % по сравнению с контролем.

К моменту уборки гороха на 1 м² контрольного варианта было 42,4 растений. В опытных вариантах, обработанных удобрением Ультрамаг Комби марка: для бобовых, данный показатель вырос на 9,2-17,2 %.

На растении контрольного варианта в среднем было 6,3 штук бобов, при обработке растений по вегетации агрохимикатом Ультрамаг Комби марка: для бобовых их количество составило 6,4-6,8 штук, что на 3,2-7,9 % больше контроля. В бобе контрольного варианта насчитывалось 6,8 штук семян. Некорневые подкормки способствовали увеличению данного показателя от 0,2-0,6 штук до 7,0-7,4 штук.

Количество выполненных семян составляло от 5,1 до 5,8 штук. В бобе опытных вариантов отмечено на 0,3-0,7 семян больше по сравнению с контролем. Массовая доля выполненных семян на контроле составила 75,0 % от общего количества. У бобов опытных вариантов данный показатель увеличился до 77,1-78,4 %.

При листовых подкормках удобрением гороха Ультрамаг Комби марка: для бобовых масса 1000 семян составила 208,9-211,8 г, что на 1,5-4,4 % больше контрольного значения.

Урожайность изучаемых культур по вариантам опыта представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние комплексного удобрения Ультрамаг Комби марка: для бобовых на урожайность зерна зернобобовых культур (2024-2025 гг.)

| Вариант опыта | Средний урожай по варианту, ц/га | Прибавка к контролю | |
|---|----------------------------------|---------------------|------|
| | | ц/га | % |
| Соя сорта Липчанка | | | |
| Контроль. Фон НРК | 20,4 | - | - |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (1,0 л/га) | 22,1 | 1,7 | 8,3 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (2,0 л/га) | 22,6 | 2,2 | 10,8 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (3,0 л/га) | 23,3 | 2,9 | 14,2 |
| Горох сорта Донец | | | |
| Контроль. Фон НРК | 27,2 | - | - |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (1,0 л/га) | 29,7 | 2,5 | 9,2 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (2,0 л/га) | 30,3 | 3,1 | 11,4 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (3,0 л/га) | 31,2 | 4,0 | 14,7 |
| НСР ₀₅ , АВ, среднее | 1,93 | | |



В контрольном варианте урожайность сои составила 20,4 ц/га. В опытных вариантах при использовании изучаемого агрохимиката Ультрамаг Комби марка: для бобовых урожайность варьировала от 22,1 до 23,3 ц/га. Прибавка урожайности сои опытных вариантов составила 1,7-2,9 ц/га. Максимальная достоверная ($НСП_{05}=2,03$ ц/га) прибавка урожая получена в опытном варианте с двукратной листовой подкормкой удобрением Ультрамаг Комби марка: для бобовых в дозе 3,0 л/га – 14,2 %.

Урожайность гороха на контроле находилась на уровне 27,2 ц/га. Некорневые подкормки, про-

веденные по вегетации, привели к повышению урожайности до 29-31,2 ц/га. Прибавка урожайности гороха составила 2,5-4,0 ц/га (9,2-14,7%). Максимальная достоверная ($НСП_{05}=2,35$ ц/га) прибавка урожайности получена в опытном варианте с применением для листовых подкормок Ультрамаг Комби марка: для бобовых в дозе 3,0 л/га – 4,0 ц/га.

Использование агрохимиката способствовало увеличению как количества, так и улучшению качества полученного урожая.

Качественные характеристики зерна сои представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Качественные показатели зерна сои

| Вариант опыта | Массовая доля белка в зерне | | Массовая доля жира в зерне | |
|---|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | Среднее содержание по варианту, % | Отклонение от контроля, % | Среднее содержание по варианту, % | Отклонение от контроля, % |
| Контроль. Фон NPK | 36,3 | - | 22,2 | - |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (1,0 л/га) | 36,5 | +0,2 | 22,4 | +0,2 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (2,0 л/га) | 36,6 | +0,3 | 22,5 | +0,3 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (3,0 л/га) | 36,8 | +0,5 | 22,6 | +0,4 |

Содержание белка в зерне сои контрольного варианта – 36,3 %. Вследствие листовых подкормок в опытных вариантах произошло увеличение белка на 0,2-0,5 % по сравнению с контролем. Массовая доля жира в контрольном образце со-

ставила 22,2 %. В опытных образцах наблюдалось повышение содержания жира на 0,2-0,4 % относительно контрольного значения.

Показатели качества зерна гороха представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Качественные показатели зерна гороха

| Вариант опыта | Массовая доля белка в зерне | | Содержание сырого протеина в зерне | |
|---|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| | Среднее содержание по варианту, % | Отклонение от контроля, % | Среднее содержание по варианту, % | Отклонение от контроля, % |
| Контроль. Фон NPK | 22,5 | - | 220,6 | - |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (1,0 л/га) | 22,7 | +0,2 | 223,5 | 1,3 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (2,0 л/га) | 22,8 | +0,3 | 224,3 | 1,7 |
| Ультрамаг Комби марка: для бобовых (3,0 л/га) | 23,0 | +0,5 | 224,8 | 1,9 |

Содержание белка в контрольном зерне гороха составило 22,5 %, а в опытных вариантах он был выше на 0,2-0,5 %.

В контрольном варианте среднее содержание сырого протеина составило 220,6 г/кг. В вариантах с использованием агрохимиката Ультрамаг Комби марка: для бобовых его количество варьировало от 223,5 до 224,8 г/кг, что выше контроля на 2,9-4,2 г/кг (1,3-1,9 %).

Заключение

При некорневых подкормках растений сои и гороха комплексным удобрением Ультрамаг Комби марка: для бобовых наблюдалась досто-

верная прибавка урожайности сои сорта Липчанка на 8,3-14,2 %, гороха сорта Донец – на 9,2-14,7 % по сравнению с контролем. Наибольшая прибавка урожая сои и гороха отмечена в опытном варианте с некорневыми подкормками удобрением Ультрамаг Комби марка: для бобовых в дозе 3,0 л/га: у сои сорта Липчанка – 2,9 ц/га (+14,2 %), у гороха сорта Донец – 4,0 ц/га (+14,7 %). По итогам исследований, проведенных в 2024-2025 гг. в Рязанском районе, установлено, что для повышения урожайности сои сорта Липчанка и гороха сорта Донец рекомендуется проведение двукратной некорневой подкормки удо-



бреннием Ультрамаг Комби марка: для бобовых по вегетации (в фазу 2-3 листьев и в фазу бутонизации) в дозе 3,0 л/га при норме расхода рабочей жидкости 200 л/га.

Список источников

1. Бельшклина, М. Е. Рост и развитие сортов сои северного экотипа в зависимости от влияния лимитирующих факторов вегетационного периода / М. Е. Бельшклина, Т. П. Кобозева, Е. В. Гуреева // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 9. – С. 4-9.
2. Васин, В.Г. Влияние биостимуляторов на показатели фотосинтетической деятельности и продуктивности гороха / В.Г.Васин, О.В.Вершинина, О.Н.Лысак // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. - №2. - С. 3.
3. Гладышева, О. В. Влияние биопрепаратов на продуктивность и качество сои в Нечерноземье / О. В. Гладышева, В. А. Свирина, В. Г. Черногаев // Плодородие. – 2024. – № 4(139). – С. 74-78. – DOI 10.25680/S19948603.2024.139.17.
4. Гладышева, О. В. Длительное воздействие минеральных удобрений на питательный режим почвы и урожайность сои / О. В. Гладышева, В. А. Свирина, В. Г. Черногаев // Плодородие. – 2022. – № 6(129). – С. 70-72. – DOI 10.25680/S19948603.2022.129.18.
5. Гладышева, О. В. Земледелие XXI столетия: экологоэкономическое состояние, проблемы и пути решения (на примере Рязанской области) / О. В. Гладышева, С. Я. Полянский // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2014. – № 1(21). – С. 26-30.
6. Гладышева, О. В. Инновационные приоритеты развития кормопроизводства в условиях нечерноземной зоны / О. В. Гладышева, Е. Ю. Ушакова, Е. В. Гуреева // Владимирский земледелец. – 2015. – № 1(71). – С. 17-19.
7. Гуреева, Е. В. Изучение изменчивости количественных признаков у сортов сои в условиях Центрального Нечерноземья / Е. В. Гуреева // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 6. – С. 36-39.
8. Гуреева, Е. В. Оценка сортов сои мировой коллекции в условиях Центрального Нечерноземья по признаку «масса семян с одного растения» / Е. В. Гуреева, А. В. Солодягина // Зерновое хозяйство России. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 62-66.
9. Евсенина, М.В. Особенности выращивания сортов гороха посевного на фоне использования микробиологических препаратов / М.В. Евсенина

// Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 4. – С. 12-19.

10. Евсенина, М.В. Урожайность сортов сои при применении микробиологического удобрения / М.В. Евсенина, Д.В. Виноградов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 3. – С. 14-21.

11. Евсенина, М.В. Эффективность применения регулятора роста в технологии производства гороха и сои / М.В. Евсенина, Д.В. Виноградов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1. – С. 9-15.

12. К вопросу о плодородии серой лесной (агросерой) почвы / Р. Н. Ушаков, Д. В. Виноградов, А. В. Ручкина [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2020. – № 3(41). – С. 3.

13. Левакова, О. В. Влияние разных способов и норм внесения гербицида Пивот на сорную растительность и продуктивность сои сорта Касатка / О. В. Левакова, Е. В. Гуреева // Аграрная наука. – 2023. – № 5. – С. 83-87.

14. Обоснование применения различных форм азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры и их влияния плодородие серой лесной почвы / Г. Н. Фадькин, Е. И. Лупова, Д. В. Виноградов, Р. Н. Ушаков // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 7(160). – С. 63-71. – DOI 10.36718/1819-4036-2020-7-63-71.

15. Роль биологически активных препаратов в повышении продуктивности агрокультур / О. В. Лукьянова, Н. В. Вавилова, Д. В. Виноградов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – № 1(49). – С. 30-39.

16. Солодягина, А.В. Урожайность семян сои при широкорядном посеве в зависимости от плотности агрофитоценоза / А.В. Солодягина, Д.В. Виноградов, Е.В. Гуреева // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 78-84.

17. Ультрамаг Комби для бобовых. – Текст электронный. – 2025. – URL: https://betaren.ru/catalog/spetsialnye-udobreniya/mikroudobreniya/ultramag_combi_bobovie/ (дата обращения: 03.11.2025).

18. Vinogradov D.V., Evsenina M.V. Using growth regulators in production of peas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Stavropol, 29–30 октября 2021 года. – Stavropol. - 2022. – P. 012029. – DOI 10.1088/1755-1315/996/1/012029.

References

1. Belyshkina, M. E. *Rost i razvitie sortov soi severnogo ekotipa v zavisimosti ot vliyaniya limitiruyushchih faktorov vegetacionnogo perioda* / M. E. Belyshkina, T. P. Kobozeva, E. V. Gureeva // *Agrarny nauchny zhurnal*. – 2020. – № 9. – S. 4-9.
2. Vasin, V.G. *Vliyanie biostimulyatorov na pokazateli fotosinteticheskoy deyatel'nosti i produktivnosti goroha* / V.G. Vasin, O.V. Verшинina, O.N. Lysak // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. - 2015. - №2. - S. 3.
3. Gladysheva, O. V. *Vliyanie biopreparatov na produktivnost' i kachestvo soi v Nечernozem'e* / O. V. Gladysheva, V. A. Svirina, V. G. Chernogaev // *Plodorodie*. – 2024. – № 4(139). – S. 74-78. – DOI 10.25680/S19948603.2024.139.17.
4. Gladysheva, O. V. *Dlitel'noe vozdejstvie mineral'nyh udobrenij na pitatel'nyj rezhim pochvy i urozhajnost' soi* / O. V. Gladysheva, V. A. Svirina, V. G. Chernogaev // *Plodorodie*. – 2022. – № 6(129). – S. 70-72. – DOI 10.25680/S19948603.2022.129.18.



5. Gladysheva, O. V. Zemledelie HHI stoletiya: ekologoekonomicheskoe sostoyanie, problemy i puti resheniya (na primere Ryazanskoj oblasti) / O. V. Gladysheva, S. Ya. Polyanskij // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2014. – № 1(21). – S. 26-30.
6. Gladysheva, O. V. Innovacionnye priority razvitiya kormoproizvodstva v usloviyah nechernozemnoj zony / O. V. Gladysheva, E. Yu. Ushakova, E. V. Gureeva // Vladimirskij zemledec. – 2015. – № 1(71). – S. 17-19.
7. Gureeva, E. V. Izuchenie izmenchivosti kolichestvennyh priznakov u sortov soi v usloviyah Central'nogo Nechernozem'ya / E. V. Gureeva // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. – 2023. – № 6. – S. 36-39.
8. Gureeva, E. V. Ocenka sortov soi mirovoj kollekcii v usloviyah Central'nogo Nechernozem'ya po priznaku «massa semyan s odnogo rasteniya» / E. V. Gureeva, A. V. Solodyagina // Zernovoe hozyajstvo Rossii. – 2024. – T. 16, № 2. – S. 62-66.
9. Evsenina, M.V. Osobennosti vyrashchivaniya sortov goroha posevnogo na fone ispol'zovaniya mikrobiologicheskikh preparatov / M.V. Evsenina // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2024. – T. 16, № 4. – S. 12-19.
10. Evsenina, M.V. Urozhajnost' sortov soi pri primenenii mikrobiologicheskogo udobreniya / M.V. Evsenina, D.V. Vinogradov // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2025. – T. 17, № 3. – S. 14-21.
11. Evsenina, M.V. Effektivnost' primeneniya regulatora rosta v tekhnologii proizvodstva goroha i soi / M.V. Evsenina, D.V. Vinogradov // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2023. – № 1. – S. 9-15.
12. K voprosu o plodorodii seroj lesnoj (agrosroj) pochvy / R. N. Ushakov, D. V. Vinogradov, A. V. Ruchkina [i dr.] // AgroEkoInfo. – 2020. – № 3(41). – S. 3.
13. Levakova, O. V. Vliyanie raznyh sposobov i norm vneseniya gerbicide Pivota na sornuyu rastitel'nost' i produktivnost' soi sorta Kasatka / O. V. Levakova, E. V. Gureeva // Agrarnaya nauka. – 2023. – № 5. – S. 83-87.
14. Obosnovanie primeneniya razlichnyh form azotnyh udobrenij pod sel'skohozyajstvennye kul'tury i ih vliyanie na plodorodie seroj lesnoj pochvy / G. N. Fad'kin, E. I. Lupova, D. V. Vinogradov, R. N. Ushakov // Vestnik KrasGAU. – 2020. – № 7(160). – S. 63-71. – DOI 10.36718/1819-4036-2020-7-63-71.
15. Rol' biologicheskii aktivnykh preparatov v povyshenii produktivnosti agrokul'tur / O. V. Luk'yanova, N. V. Vavilova, D. V. Vinogradov [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2021. – № 1(49). – S. 30-39.
16. Solodyagina, A.V. Urozhajnost' semyan soi pri shirokoryadnom poseve v zavisimosti ot plotnosti agrofitocenoza / A.V. Solodyagina, D.V. Vinogradov, E.V. Gureeva // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2024. – T. 16, № 3. – S. 78-84.
17. Ul'tramag Kombi dlya bobovyh. – Tekst elektronnyj. – 2025. – URL: https://betaren.ru/catalog/spetsialnye-udobreniya/mikroudobreniya/ultramag_combi_bobovie/ (data obrashcheniya: 03.11.2025).
18. Vinogradov D.V., Evsenina M.V. Using growth regulators in production of peas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Stavropol, 29–30 oktyabrya 2021 goda. – Stavropol. – 2022. – P. 012029. – DOI 10.1088/1755-1315/996/1/012029.

Информация об авторе

Евсенина Марина Владимировна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры агрономии и защиты растений, ФГБОУ ВО РГАТУ, marina.vlady@mail.ru

Author information

Evenina Marina V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy and Plant Protection, FGBOU VO RGATU, marina.vlady@mail.ru

Статья поступила в редакцию 7.11.2025; одобрена после рецензирования 4.12.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted to the editorial office 7.11.2025; approved after review 4.12.2025; accepted for publication 15.12.2025





Вестник РГАТУ. 2025, т.17, №4, с. 22-31
Vestnik RGATU. 2025, Vol.17, №4, pp. 22-31

Научная статья
УДК 636.085.52:633.15
DOI: 10.36508/RSATU.2025.95.70.004

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО КОНСЕРВАНТА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА КАЧЕСТВО КУКУРУЗНОГО СИЛОСА

Лидия Алексеевна Есаулова¹✉, Алексей Алексеевич Васильев², Евгений Сергеевич Артемов³

^{1,3} ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
г. Воронеж, Россия

² Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени
К.И. Скрябина, г. Москва, Россия

¹ esaulovalida@yandex.ru

² alekseyvasiliev@yandex.ru

³ evgeartemov@yandex.ru

Аннотация.

Научная статья посвящена исследованию влияния отечественного биологического консерванта «Фермасил» на качество кукурузного силоса, предназначенного для кормления высокопродуктивных дойных коров.

Цель работ. Выявление возможностей импортозамещения зарубежных препаратов и повышение качества кормов за счёт использования инновационных отечественных решений.

Методы исследования включали постановку опыта по закладке силоса в хозяйстве ООО «Дон» Хохольского района Воронежской области. В качестве контрольной группы выступал внутрихозяйственный традиционно используемый силос с применением зарубежного консерванта «Бонсилаж Fit М» (консервант вносился из расчета 1 г на 1 тонну силоса), с целью импортозамещения в хозяйстве были заложены опытные партии силоса с российским препаратом «Фермасил» (консервант вносился из расчета 3 г на 1 тонну силоса).

Результаты продемонстрировали значительную разницу в качестве полученного силоса. Потери сухого вещества в силосе с применением «Фермасыла» оказались существенно ниже (4,01% против 6,03% в контроле). Также отмечались различия в содержании важных питательных веществ: чистая энергии лактации выросла на 2,31%, обменная энергия - на 2,33%, усваиваемый протеин - на 1,95%. Качественный показатель уровня обменной энергии в сухом веществе и кислотно-детергентной клетчатки подтвердил преимущество «Фермасыла», относимый к первому классу качества, в то время как контрольный образец («Бонсилаж Fit М») получил лишь второй класс. Кроме того, экономические расчёты показали положительную динамику: благодаря повышению качества кормов себестоимость 1 кг молока снизилась на 0,03 руб., что дало потенциальную экономию в сумме порядка 432 тыс. рублей в год для хозяйства с поголовьем 1035 голов и продуктивностью каждой коровы в среднем 13929 кг молока.

Выводы подчёркивают необходимость внедрения новых отечественных разработок в сельском хозяйстве, способствующих росту производительности животноводческих хозяйств и достижению высоких стандартов качества кормовых продуктов.

Ключевые слова: высокопродуктивные дойные коровы, оценка качества кормов, силосование, биологические консерванты, конверсия корма

Для цитирования: Есаулова Л.А., Васильев А.А., Артемов Е.С. Оценка влияния биологического консерванта отечественного производства на качество кукурузного силоса // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т. 17, №4, С.22-31 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.95.70.004>

Original article

EVALUATION OF THE IMPACT OF DOMESTIC BIOLOGICAL PRESERVATIVE ON THE QUALITY OF CORN SILAGE

Lidia A. Esaulova¹✉, Alexey A. Vasilyev², Evgeny S. Artemov³

^{1,3} Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University, Voronezh, Russia



² Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – K.I. Skryabin Moscow Veterinary Academy, Moscow, Russia

¹ esaulovalida@yandex.ru

² alekseyvasiliev@yandex.ru

³ evgeartemov@yandex.ru

Abstract.

The scientific article is devoted to the study of the effect of the domestic biological preservative Farmasil on the quality of corn silage intended for feeding high-yielding dairy cows.

The purpose of the work is to identify opportunities for import substitution of foreign drugs and to improve the quality of feed by using innovative domestic solutions.

The research methods included conducting an experiment on silage storage at the Don LLC farm in the Khokholsky District of the Voronezh Region. The control group consisted of traditional silage produced on the farm using the foreign preservative Bonsilage Fit M (1 g per 1 ton of silage), and the experimental silage was produced using the Russian preservative Farmasil (3 g per 1 ton of silage) in order to import substitute.

The results demonstrated a significant difference in the quality of the resulting silage. The loss of dry matter in the silage using Farmasil was significantly lower (4.01% vs. 6.03% in the control). There were also significant differences in the content of important nutrients: the net energy of lactation increased by 2.31%, the exchange energy increased by 2.33%, and the digestible protein increased by 1.95%. The quality indicator of the level of metabolic energy in the dry matter and acid-detergent fiber confirmed the advantage of Farmasil, which belongs to the first quality class, while the control sample (Bonsilage Fit M) received only the second class. In addition, economic calculations showed a positive trend: due to the improvement in feed quality, the cost of 1 kg of milk decreased by 0.03 rubles, resulting in potential savings of approximately 432,000 rubles per year for a farm with 1,035 cows and an average milk yield of 13,929 kg per cow.

The findings highlight the need for the introduction of new domestic developments in agriculture that will help increase the productivity of livestock farms and achieve high standards of feed quality.

Key words: highly-productive dairy cows, feed quality assessment, silage, biological preservatives, feed conversion.

For citation: Esaulova L.A., Vasilyev A.A., Artemov E.S. Evaluation of the impact of domestic biological preservative on the quality of corn silage // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No. 4, P. 22-31 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.95.70.004](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.95.70.004)

Введение

В связи с уходом с Российского рынка зарубежных компаний, актуальным стал вопрос импортозамещения во всех сферах производства аналогичной продукции Российскими товаропроизводителями, не исключением является и кормопроизводство. Поэтому поиск оптимального состава и исследование эффективности отечественных биоконсервантов является важной задачей [2,4,5,8,10]. Также отметим, что отечественные разработки различных технологий для животноводства зачастую значительно лучше западных аналогов, поскольку адаптированы к нашим природно-климатическим условиям и другим факторам, влияющим на сельхозпроизводство. Проблема качественной подготовки кормов для сельского хозяйства остается одной из ключевых задач современного агропромышленного комплекса. Сохранение максимального объема питательных веществ в силосе является необходимым условием успешного функционирования животноводства, поскольку силос составляет значительную часть зимнего рациона крупнорогатого скота и оказывает прямое воздействие на его продуктивность и эффективность сельскохозяйственного производства [11,14].

Одним из перспективных методов улучшения характеристик кормов выступает использование биологических консервантов. Среди отечественных разработок выделяется «Фермасил»,

представляющий собой многокомпонентный биопрепарат, разработанный специально для эффективной консервации силоса и сенажа. Данный препарат обеспечивает стабилизацию процессов ферментации, ускоряя размножение полезных микроорганизмов и повышая устойчивость корма к неблагоприятным условиям хранения. Зарубежные аналоги, такие как «Бонсилаж Fit М», также демонстрируют положительные эффекты, позволяя получать качественные корма. Тем не менее, исследования показывают преимущества отечественной разработки, которая соответствует современным требованиям к качеству, экологической чистоте и экономической целесообразности. Важным аспектом является возможность полного импортозамещения, что становится критичным фактором устойчивости отрасли в современных экономических реалиях [6,7,9,12].

Материалы и методы исследований

В работе производится оценка влияния биологического консерванта отечественного производства на качество кукурузного силоса в ООО «Дон» Хохольского района Воронежской области. Закладка силоса в хозяйстве производится в полимерные рукава. В хозяйстве давно и на постоянной основе используется при заготовке силоса консервант Бонсилаж Fit М от фирмы ШАУМАНН (контроль), расход консерванта составляет 1 г на 1 тонну силоса. С целью замены зарубежного консерванта на российский и подтверждения его



эффективности в условиях конкретного хозяйства в ООО «Дон» Хохольского района Воронежской области был произведен опыт по закладке силоса с использованием биологического консерванта Фермасил отечественного производства. Для этого была заложена опытная партия кукурузного силоса в количестве 200 тонн. Консервант вносился из расчета 3 грамма на 1 тонну силоса. Общее количество затраченного консерванта составило 600 граммов. Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта

| | |
|----------------------------|---|
| Образец 1 (Опытная) | С консервантом Бонсилаж Fit M 1 г на 1 тонну силоса |
| Образец 2 (Контрольная) | С консервантом Фермасил 3 г на 1 тонну силоса |

Консервант вносится в силосуемый ворох с помощью форсунок-распределителей в момент подачи его комбайном в машины-транспортировщики. К форсункам консервант подается из баков, расположенных на комбайне с помощью шлангов. в настоящее время для оценки качества кормов, балансирования рационов помимо традиционно используемой Российской системы нормированного кормления, придерживающейся норм кормления, опубликованных в справочнике «Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных» А.П. Калашниковым в 2003 году, многие животноводческие хозяйства используют зарубежную систему нормированного кормления.

В настоящее время выделяют следующие системы: NRC, CVB, DLG, NASEM. В них для оценки качества кормов и расчета рационов помимо традиционно используемых показателей: обменной энергии (ОЭ), сырых и переваримых протеина, жира, клетчатки, БЭВ, используют следующие показатели. В Нидерландской системе питательности: VEM – кормовая единица на производство молока; VEVI – кормовая единица для мясного скота; DVE – перевариваемый в кишечнике протеин; OEB – баланс перевариваемого протеина; FOS – ферментируемое органическое вещество (рубец). В Германской системе питательности: ОЭ – обменная энергия; NEL – нетто энергия для лактации; NEL-VC – NEL рассчитывается из переваримого органического; UDP – неперевариваемый/неусвояемый в рубце протеин; nXP – усвояемый сырой протеин; RNB – баланс азота в рубце.

На основании полученных результатов была проведена оценка потерь питательных веществ в процессе силосования, проведен сравнительный анализ питательности силоса, приготовленного с использованием различных консервантов с контрольными значениями, осуществлена оценка качества силоса, приготовленного с использованием консервантов в соответствии с ГОСТ Р 55986 – 2022 Силос и силаж. Общие технические усло-

вия; Рассчитана экономическая эффективность использования силоса с различными консервантами; расчет и моделирование рационов производилось при помощи программы «КормОптимЭксперт».

Результаты исследований и их обсуждение

Для оценки результатов исследований в лабораторию Agrofins BLGG были направлены образцы зеленой массы кукурузы, закладываемой на силос. А также после завершения процесса силосования через 45 дней после закладки были отправлены по 2 образца силоса законсервированного консервантом, используемым в хозяйстве, Бонсилаж Fit M и с использованием биологического консерванта Фермасил отечественного производства.

На основании полученных данных мы произвели оценку потерь питательных веществ в процессе силосования (табл. 2).

Анализируя таблицу, отметим, что процент потерь сухого вещества при заготовке силоса с испытываемым консервантом Фермасил меньше и составляет 4,01 %, против 6,03 % потерь сухого вещества при закладке силоса с консервантом Бонсилаж Fit (контроль). Также меньше процент потерь в испытываемом силосе Чистая энергия лактации (NEL) – 3,62 % против 5,8 % в контроле, обменной энергии – 2,91 % в опыте против 4,87 % в контроле, усвоенного протеина (nXP) – 1,88 % в опыте против 3,76 % в контроле, сахара – 40 % в опыте, против 65,71 % в контроле.

Также в работе был проведен сравнительный анализ питательности силоса, приготовленного с использованием различных консервантов с контрольными значениями. В рассматриваемых образцах силоса (табл. 3) количество сухого вещества меньше контрольных (среднестатистических) значений, представленных в протоколах лаборатории Agrofins BLGG. Ниже содержание крахмала, что может свидетельствовать о слишком раннем скашивании кукурузы на силос. Однако уровень структурных углеводов в контрольном образце силоса превышает среднестатистические значения, что можно связать с низким срезом кукурузы на момент ее скашивания или повышенным разложением питательных веществ и накоплением балластных веществ. Во всех образцах силоса показатели протеиновой питательности, такие как общий, сырой и транзитный протеин, ниже контрольных значений, а фракция NH₃, превышает их, что может свидетельствовать о разложении протеина в процессе хранения.

К преимуществам химического состава силоса опытного образца относительно контрольного можно отнести: большее содержание молочной кислоты на 0,81 %; чистой энергии лактации на 2,31 %; обменной энергии на 2,33 %; сырого протеина на 1,56 %; усвоенного протеина на 1,95 %; транзитного протеина на 2,94 %; сырого жира на 7,14 %; крахмала на 3,77 %; лизина на 1,64 %; сахара на 50 %.



Таблица 2 – Потери питательных веществ в кукурузном силосе относительно зелёной массы в контрольном и опытных образцах

| Показатели | СВ, г/кг | VEM, г/кг/СВ | DVE, г/кг/СВ | ОЕВ, г/кг/СВ | Переваримое ОВ, г/кг/СВ | FOS, г/кг/СВ | NEL (МДж) | NEL-VC (МДж) | ОЭ (МДж) | Структурная ценность | nXP, г/кг/СВ | RNB, г/кг/СВ | UDP, г/кг/СВ |
|--|----------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|--------------|-----------|--------------|----------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Контроль | | | | | | | | | | | | | |
| зеленая масса кукурузы | 315 | 981 | 62 | -54 | 734 | 561 | 6,9 | 6,8 | 11,3 | 1,9 | 133 | -10,5 | 17 |
| силос кукуруза контроль 50 | 286 | 932 | 48 | -38 | 704 | 530 | 6,4 | 6,4 | 10,6 | 2,1 | 127 | -9,1 | 17 |
| силос кукурузный контроль 51 | 306 | 963 | 49 | -38 | 723 | 529 | 6,6 | 6,7 | 10,9 | 1,9 | 129 | -9,6 | 17 |
| Силос кукурузный контроль М (среднее) | 296 | 947,5 | 48,5 | -38 | 713,5 | 529,5 | 6,5 | 6,55 | 10,75 | 2 | 128 | -9,35 | 17 |
| % потерь к зеленой массе | 93,97 | 96,59 | 78,23 | 70,37 | 97,21 | 94,39 | 94,20 | 96,32 | 95,13 | 105,26 | 96,24 | 89,05 | 100,00 |
| % потерь к зеленой массе | 6,03 | 3,41 | 21,77 | 29,63 | 2,79 | 5,61 | 5,80 | 3,68 | 4,87 | -5,26 | 3,76 | 10,95 | 0,00 |
| Опыт | | | | | | | | | | | | | |
| зеленая масса кукурузы | 321 | 978 | 63 | -53 | 732 | 558 | 6,9 | 6,8 | 11,33 | 1,9 | 133 | -10,2 | 17 |
| силос кукуруза опыт 50 | 311 | 943 | 48 | -36 | 711 | 527 | 6,6 | 6,5 | 10,9 | 1,9 | 130 | -9,3 | 18 |
| силос кукуруза опыт 51 | 305 | 941 | 46 | -35 | 711 | 514 | 6,7 | 6,6 | 11,1 | 1,8 | 131 | -9,9 | 17 |
| Силос кукурузный опыт М (среднее) | 308 | 942 | 47 | -35,5 | 711 | 520,5 | 6,65 | 6,55 | 11 | 1,85 | 130,5 | -9,6 | 17,5 |
| % потерь к зеленой массе | 95,95 | 96,32 | 74,60 | 66,98 | 97,13 | 93,28 | 96,38 | 96,32 | 97,09 | 97,37 | 98,12 | 94,12 | 102,94 |
| % потерь к зеленой массе | 4,05 | 3,68 | 25,40 | 33,02 | 2,87 | 6,72 | 3,62 | 3,68 | 2,91 | 2,63 | 1,88 | 5,88 | -2,94 |



Продолжение таблицы 2

| Показатели | Сырая зола, г/ кг/СВ | Переварим Орг в-во (%ОВ) | Сырой протеин, г/кг/СВ | Растворимый СП (%СП) | Сырой жир, г/ кг/СВ | Сырая клет- чатка, г/кг/СВ | Сахар, г/кг/СВ | Крахмал, г/кг/ СВ | НДК, г/кг/СВ | НДК-перевари- мость(%) | КДК, г/кг/СВ | КДЛ (лигнин), г/кг/СВ |
|--|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------------------|
| | Контроль | | | | | | | | | | | |
| зеленая масса куку- рузы | 40 | 76,5 | 67 | 50 | 30 | 190 | 35 | 303 | 412 | 57,8 | 225 | 16 |
| силос куку- руза кон- троль 50 | 43 | 73,6 | 64 | 54 | 28 | 214 | 12 | 272 | 451 | 53,2 | 252 | 21 |
| силос кукурузный контроль 51 | 42 | 75,5 | 64 | 53 | 28 | 194 | 12 | 312 | 419 | 55,7 | 228 | 18 |
| Силос кукурузный контроль М (среднее) | 42,5 | 74,55 | 64 | 53,5 | 28 | 204 | 12 | 292 | 435 | 54,45 | 240 | 19,5 |
| % потерь к зеленой массе | 106,25 | 97,45 | 95,52 | 107 | 93,33 | 107, 3684 | 34,29 | 96,37 | 105,58 | 94,20 | 106,67 | 121,88 |
| % потерь к зеленой массе | -6,25 | 2,55 | 4,48 | -7,00 | 6,67 | -7,37 | 65,71 | 3,63 | -5,58 | 5,80 | -6,67 | -21,88 |
| Опыт | | | | | | | | | | | | |
| зеленая масса куку- рузы | 44 | 76,7 | 69 | 51 | 31 | 192 | 30 | 301 | 417 | 57,3 | 222 | 17 |
| силос куку- руза опыт 50 | 40 | 74,1 | 66 | 58 | 29 | 194 | 20 | 294 | 413 | 55 | 225 | 17 |
| силос куку- руза опыт 51 | 38 | 73,9 | 64 | 51 | 31 | 186 | 16 | 312 | 403 | 53,7 | 215 | 17 |
| Силос кукурузный опыт М (среднее) | 39 | 74 | 65 | 54,5 | 30 | 190 | 18 | 303 | 408 | 54,35 | 220 | 17 |
| % потерь к зеленой массе | 88,64 | 96,48 | 94,20 | 106,86 | 96,77 | 98,96 | 60,00 | 100,66 | 97,84 | 94,85 | 99,10 | 100,00 |
| % потерь к зеленой массе | 11,36 | 3,52 | 5,80 | -6,86 | 3,23 | 1,04 | 40,00 | -0,66 | 2,16 | 5,15 | 0,90 | 0,00 |



Таблица 3 – Сравнительный анализ питательности силоса, приготовленного с использованием различных консервантов

| Показатели | СВ, г/кг | pH | уксусная кислота, г/кг СВ | молочная кислота, г/кг СВ | VEM, г/кг/СВ | DVE, г/кг/СВ | ОЕВ, г/кг/СВ | Переваримое ОВ, г/кг/СВ | FOS/фермент ОВ, г/кг/СВ | NEL (МДж) | NEL-VC (МДж) |
|----------------------------|-----------|----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|
| Контрольное значение | 320-360 | 3,8-4,2 | 10,0-16,0 | 40-60 | 920-1000 | 45-55 | -35 – -20 | 700-750 | 475-525 | 6,5-7,4 | 6,5-7,4 |
| Силос контроль М (среднее) | 296 | 3,8 | 15 | 61,5 | 947,5 | 48,5 | -38 | 713,5 | 529,5 | 6,5 | 6,55 |
| Силос опыт М (среднее) | 308 | 3,75 | 14 | 62 | 942 | 47 | -35,5 | 711 | 520,5 | 6,65 | 6,55 |
| % к контролю | 104,05 | 98,68 | 93,33 | 100,81 | 99,42 | 96,91 | 93,42 | 99,65 | 98,30 | 102,31 | 100,00 |
| Показатели | ОЭ (МДж) | Структурная ценность | nXP, г/кг/СВ | RNB, г/кг/СВ | UDP, г/кг/СВ | Сырая зола, г/кг/СВ | Переварим Орг в-во (%ОВ) | NH3 фракция (%СП) | Сырой протеин, г/кг/СВ | Общий сырой протеин, г/кг/СВ | Растворимый СП (%СП) |
| Контрольное значение | 10,7-11,3 | 1,7-2,0 | 130-140 | -11,0-7,0 | 18-26 | 35-50 | 73-78 | <6 | 75-85 | 80-90 | 42-60 |
| Силос контроль М (среднее) | 10,75 | 2 | 128 | -9,35 | 17 | 42,5 | 74,55 | 8 | 64 | 70 | 53,5 |
| Силос опыт М (среднее) | 11 | 1,85 | 130,5 | -9,6 | 17,5 | 39 | 74 | 8,5 | 65 | 70,5 | 54,5 |
| % к контролю | 102,33 | 92,50 | 101,95 | 102,67 | 102,94 | 91,76 | 99,26 | 106,25 | 101,56 | 100,71 | 101,87 |

Продолжение таблицы 3

| Показатели | Сырой жир, г/кг/СВ | Сырая клетчатка, г/кг/СВ | Сахар, г/кг/СВ | Крахмал, г/кг/СВ | Транзитный крахмал (%) | Транзитный крахмал, г/кг/СВ | НДК, г/кг/СВ | НДК-переваримость (%) | КДК, г/кг/СВ | КДЛ (лигнин), г/кг/СВ | Лизин, г/кг/СВ | Метионин, г/кг/СВ |
|----------------------------|--------------------|--------------------------|----------------|------------------|------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|----------------|-------------------|
| Контрольное значение | 25-35 | 180-200 | 1,0-15,0 | 320-400 | 25-34 | 70-120 | 370-420 | 40-60 | 190-220 | 14-20 | | |
| Силос контроль М (среднее) | 28 | 204 | 12 | 292 | 25,5 | 74,5 | 435 | 54,45 | 240 | 19,5 | 3,05 | 1,2 |
| Силос опыт М (среднее) | 30 | 190 | 18 | 303 | 22 | 68 | 408 | 54,35 | 220 | 17 | 3,1 | 1,2 |
| % к контролю | 107,14 | 93,14 | 150,00 | 103,77 | 86,27 | 91,28 | 93,79 | 99,82 | 91,67 | 87,18 | 101,64 | 100,00 |

В работе также проведена оценка качества силоса, приготовленного с использованием консервантов в соответствии с ГОСТ Р 55986 – 2022 Силос и силаж. Общие технические условия, в соответствии с которым силос подразделяют на классы в зависимости от величины значения физико-химического показателя корма (табл.4).



Таблица 4 – Оценка качества образцов силоса из кукурузы в соответствии с ГОСТ Р 55986-2022

| Наименование показателя | Норма для класса | | | Контроль Бонсилаж Fit M | | Опыт Фермасил | |
|--|------------------|---------|---------|-------------------------|-------|---------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | Образец | Класс | Образец | Класс |
| Содержание сухого вещества, г/кг, не менее, в силосе: - из кукурузы | 300 | 250 | 200 | 296 | 2 | 308 | 1 |
| Концентрация в сухом веществе сырого протеина, г/кг, не менее, в силосе: - из кукурузы и сорго | 80 | 75 | 75 | 64 | н/к | 65 | н/к |
| Концентрация сырой клетчатки в сухом веществе, г/кг, не более, в силосе: - из кукурузы | 220 | 240 | 260 | 204 | 1 | 190 | 1 |
| Концентрация нейтрально-детергентной клетчатки в сухом веществе, г/кг, не более, в силосе: - из кукурузы | 400 | 450 | 500 | 435 | 1 | 408 | 1 |
| Концентрация сырой золы в сухом веществе всех видов силоса, г/кг, не более | 100 | 110 | 130 | 42,5 | 1 | 39 | 1 |
| Содержание аммиачного азота, %, от общего азота, не более | 10 | 13 | 15 | 8 | 1 | 8,5 | 1 |
| Массовая доля молочной кислоты в общем количестве (молочной, уксусной, масляной) кислот, %, не менее, в силосе: - из кукурузы | 70 | 65 | 60 | 80,39 | 1 | 81,58 | 1 |
| Массовая доля масляной кислоты в силосе, %, не более | 0,1 | 0,2 | 0,3 | - | | - | |
| pH силоса, ед. pH | 3,9-4,3 | 3,8-4,3 | 3,7-4,3 | 3,8 | 1 | 3,75 | 3 |
| Содержание обменной энергии в сухом веществе, МДж/кг, не менее, в силосе: - из кукурузы | 11 | 10,7 | 10,4 | 10,75 | 2 | 11 | 1 |

Анализируя таблицу, отметим некоторые преимущества опытного образца перед контрольным. Так, содержание сухого вещества в опытном образце соответствует первому классу качества, в контроле – второй класс. Несмотря на то, что по показателю концентрация сырой клетчатки в сухом веществе оба образца отнесены к первому классу качества, опытный образец имеет меньшее ее количество. Та же динамика отмечается и во фракционном составе структурных углеводов. Концентрация кислотно-детергентной клетчатки в контрольном образце соответствует второму классу качества, опытный образец относится к первому классу качества. Содержание обменной

энергии в сухом веществе выше в опытном образце, он относится к первому классу качества, контрольный образец по этому показателю отнесен ко второму классу качества.

В работе произведен расчет экономической эффективности использования силоса с различными консервантами. На основании рационов, представленных хозяйством, нами были смоделированы рационы при помощи программы КормОптимизатор, разработчик фирма КормОптимизатор, с учетом стоимости кормов и питательности силоса, приготовленного с различными консервантами (табл. 5).

Таблица 5 – Состав и питательность рационов

| Показатели | Контрольная Бонсилаж Fit M | Опытная Фермасил |
|----------------------|----------------------------|------------------|
| Сенаж ячмень | 8,73 | 8,73 |
| Сенаж рожь | 1,29 | 1,29 |
| Силос кукурузный | 27,73 | 27,14 |
| Ячмень | 2,2 | 2,2 |
| Кукуруза | 2,2 | 2,2 |
| Шрот рапсовый | 4,0 | 4,0 |
| Дробина пивная сухая | 2,2 | 2,2 |



Продолжение таблицы 5

| | | |
|---------------------|----------|----------|
| Соль поваренная | 0,18 | 0,18 |
| Мел кормовой | 0,18 | 0,18 |
| Сода пищевая | 0,1 | 0,1 |
| Ultra Sorb | 0,1 | 0,1 |
| Yea Sacc Farm Pak | 0,01 | 0,01 |
| Премикс | 0,15 | 0,15 |
| Показатели качества | | |
| ОЭ КРС | 221,05 | 221,01 |
| Сухое вещество | 19,76 | 19,63 |
| Сырой протеин | 3 523,50 | 3 512,50 |
| Прот. Перев. Крс | 2 587,30 | 2 580,30 |
| НРП | 1 188,40 | 1 185,40 |
| пхр | 2 706,65 | 2 707,67 |
| Сырой жир | 635,80 | 631,90 |
| Сырая клетчатка | 3 508,00 | 3 473,00 |
| Крахмал | 3 478,70 | 3 460,50 |
| Са | 139,70 | 139,20 |
| Р | 89,50 | 88,20 |

Расчет стоимости 1 тонны силоса:

Бонсилаж: расход 1 грамм на 1 тонну силоса

100 г – 135 рублей

1 г – х руб

$X = 1,35 \text{ руб}/1000 \text{ кг}$, стоимость Бонсилаж Fit M

2000 руб/1 тонну силоса + 1,35 руб =

2001,4 руб/1000 кг, стоимость силоса с Бонсилажом Fit M

Фермасил: расход 3 грамма на 1 тонну силоса

1 кг Фермасыла – 10500 рублей

0,003 кг Фермасыла – х рублей

$X = 31,5 \text{ рублей}/1000 \text{ кг}$ силоса, стоимость Фермасыла 2000 руб/1 тонну силоса + 31,5 = 2032 руб/1000 кг, стоимость силоса с Фермасилом

Представленные рационы по сухому веществу соответствуют удою 33 кг (Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах, под ред. Р.В. Некрасова, 2018 год) [13]. Расчет экономической эффективности использования силоса с различными консервантами представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Экономическая эффективность производства силоса с различными консервантами

| Показатели | Бонсилаж Fit M | Фермасил |
|--|----------------|----------|
| 1. Потреблено сухого вещества рациона, кг | 19,76 | 19,63 |
| 2. Получено молока, кг/гол/сут | 33 | 33 |
| 3. Из 1 кг сухого вещества получено молока | 1,67 | 1,68 |
| 4. Стоимость рациона | 344 | 343 |
| 5. Себестоимость 1 кг молока, руб | 10,42 | 10,39 |
| 6. Экономия затрат корма на 1 кг молока, руб | | 0,03 |

Анализируя таблицу, отметим: исходя из того, что энергетическая ценность силоса с Фермасилом больше, в рацион его до равнозначной энергетической питательности необходимо включить меньше 27,14 кг, против силоса с консервантом Бонсилаж Fit M – 27,73 кг. В связи с этим стоимость рациона с силосом, законсервированным Фермасилом, будет меньше, себестоимость 1 кг молока снизится, экономия затрат корма на 1 кг молока составит 0,03 рубля.

Экономия затрат корма на поголовье 1035 голов за год при заявленной годовой продуктивности коровы 13929 кг составит: $13929 \text{ кг} \cdot 1035 \text{ голов} \cdot 0,03 \text{ руб} = 432\,495,45 \text{ рублей}$

Закключение

1. Использование биологического консер-

ванта «Фермасил» снижает потери питательных веществ по сравнению с традиционным консервантом «Бонсилаж Fit»: потеря сухого вещества снизилась с 6,03 % до 4,01 %; Потеря чистой энергии лактации уменьшилась с 5,8 % до 3,62 %; потеря обменной энергии сократилась с 4,87 % до 2,91 %; Уменьшение потери усваиваемого протеина составило почти вдвое (с 3,76 % до 1,88 %).

2. Опытный образец отличается повышенным содержанием полезных компонентов: молочной кислоты больше на 0,81 %; чистой энергии лактации выше на 2,31 %; обменной энергии выше на 2,33 %; сырого протеина больше на 1,56 %; усваиваемого протеина больше на 1,95 %; транзитного протеина больше на 2,94 %; крахмала больше на 3,77 %; лизина больше на 1,64 %; сахара больше на 50 %.



3. По содержанию сухого вещества и уровню обменной энергии в сухом веществе, а также кислотно-детергентной клетчатки опытный образец относится к первому классу качества, тогда как контрольный образец – ко второму классу.

4. Использование консерванта Фермасил обеспечивает экономическую выгоду по сравнению с консервантом Бонсилаж Fit M. Несмотря на незначительное увеличение энергетической ценности силоса с Бонсилажем, применение Фермасила позволяет снизить количество потребляемого силоса в рационе животных, уменьшая затраты на кормление. Это ведет к снижению себестоимости 1 кг молока на 0,03 рубля. Для хозяйства с поголовьем 1035 коров и средней продуктивностью 13929 кг молока в год суммарная экономия составляет около 432 тыс. рублей, что подтверждает целесообразность выбора консерванта Фермасил для приготовления силоса.

Таким образом, использование биологического консерванта «Фермасил» способствует снижению потерь питательных веществ и улучшению химического состава силоса, обеспечивая получение качественного продукта питания для животных. Применение консерванта Фермасил экономически обосновано и предпочтительно, поскольку обеспечивает большую дополнительную прибыль даже с учетом увеличенных расходов на его приобретение и использование.

Список источников

1.Аристов, А. В. Корма. Основы технологии приготовления и оценка качества / А. В. Аристов, Л. А. Есаулова; Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – 198 с. – ISBN 978-5-7267-1088-4. – EDN YWVAFV.

2.Динамика изменения микробиологического состава силоса, заготовленного с использованием биологического консерванта Фермасил / Д. В. Каширин, В. В. Джавахия, Е. В. Глаголева [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 111. – С. 211-215. – DOI 10.21515/1999-1703-111-211-215. – EDN GREIYN.

3.Есаулова, Л. А. Современный подход к организации кормления молочного скота / Л. А. Есаулова, Н. А. Кудинова. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – 155 с. – ISBN 978-5-7267-1343-4. – EDN WNCANQ.

4.Жужин, М. С. Расчет параметров дозирующего устройства для внесения порошкообразных препаратов / М. С. Жужин, Р. А. Смирнов, В. Л. Андреев // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 4(155). – С. 7-17. – DOI 10.24412/2227-9407-2024-4-7-17. – EDN NSKVOC.

5.Заготовка силосной траншеи с использованием нового биоконсерванта фермасил // Эффективное животноводство. – 2017. – № 1(131). – С. 36-37. – EDN YGYCFD.

6.Иванов, А. Витасил + Фермасил = высокий доход / А. Иванов // Комбикорма. – 2023. – № 2. – С. 63-64. – EDN LYKYSD.

7.Иванов, А. Могущество простых решений / А. Иванов // Животноводство России. – 2024. – № 9. – С. 34-38. – EDN BMLXEQ.

8.Иванов, А. Силос премиум-класса - при любой погоде / А. Иванов // Животноводство России. – 2022. – № 3. – С. 48-49. – EDN KESYOT.

9.Использование конкурентоспособных отечественных натуральных кормовых добавок в молочном скотоводстве / А. В. Аристов, С. Н. Семенов, Д. А. Пирогов [и др.] ; Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. – 123 с. – ISBN 978-5-7267-1166-9. – EDN YVXJAJ.

10.Консервирование злаково-бобовой травосмеси ираннеспелых гибридов кукурузы с использованием биопрепаратов российского производства / В. П. Клименко, А. С. Абрамян, Б. А. Осипян [и др.] // Ветеринария и кормление. – 2024. – № 4. – С. 46-50. – DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-4-8. – EDN AOJHOC.

11.Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах : Посвящается 100-летию со дня рождения академика Алексея Петровича Калашникова (1918–2010) / Р. В. Некрасов, А. В. Головин, Е. А. Махаев [и др.] ; Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста; Под ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева. – Москва : Российская академия наук, 2018. – 290 с. – ISBN 978-5-906906-77-9. – EDN XLVLDML.

12.Позднякова, В. Ф. Сокращение экономических потерь с помощью применения консервантов Фермасил и Витасил в условиях современного промышленного молочного комплекса / В. Ф. Позднякова, О. В. Латышева, А. В. Иванов // Эффективное животноводство. – 2020. – № 4(161). – С. 52-54. – EDN MFSRNS.

13.Суслова, И. Качественный силос с консервантом Бонсилаж Форте / И. Суслова, Л. Смирнова, С. Зезин // Молочное и мясное скотоводство. – 2012. – № 8. – С. 24-25. – EDN PUABBR.

14.Эффективность применения биоконсерванта Фермасил при силосовании кормовых трав / Д. В. Каширин, В. В. Джавахия, Е. В. Глаголева [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 110. – С. 211-214. – DOI 10.21515/1999-1703-110-211-214. – EDN CSGJKI.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

References

1. Aristov, A. V. Korma. Osnovy tekhnologii prigotovleniya i ocenka kachestva / A. V. Aristov, L. A. Esaulova; Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I. – Voronezh : Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2018. – 198 s. – ISBN 978-5-7267-1088-4. – EDN YWVAFV.



2. *Dinamika izmeneniya mikrobiologicheskogo sostava silosa, zagotovlennogo s ispol'zovaniem biologicheskogo konservanta Fermasil* / D. V. Kashirin, V. V. Dzhavahiya, E. V. Glagoleva [i dr.] // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2024. – № 111. – S. 211-215. – DOI 10.21515/1999-1703-111-211-215. – EDN GREIYN.
3. *Esaulova, L. A. Sovremennyy podhod k organizacii kormleniya molochnogo skota* / L. A. Esaulova, N. A. Kudinova. – Voronezh : Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2023. – 155 s. – ISBN 978-5-7267-1343-4. – EDN WNCANQ.
4. *Zhuzhin, M. S. Raschet parametrov doziruyushchego ustrojstva dlya vneseniya poroshkoobraznykh preparatov* / M. S. Zhuzhin, R. A. Smirnov, V. L. Andreev // *Vestnik NGIEI*. – 2024. – № 4(155). – S. 7-17. – DOI 10.24412/2227-9407-2024-4-7-17. – EDN NSKVOC.
5. *Zagotovka silosnoj transhei s ispol'zovaniem novogo biokonservanta fermasil* // *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. – 2017. – № 1(131). – S. 36-37. – EDN YGYCFD.
6. *Ivanov, A. Vitasil + Fermasil = vysokij dohod* / A. Ivanov // *Kombikorma*. – 2023. – № 2. – S. 63-64. – EDN LYKYSD.
7. *Ivanov, A. Mogushchestvo prostyh reshenij* / A. Ivanov // *Zhivotnovodstvo Rossii*. – 2024. – № 9. – S. 34-38. – EDN BMLXEQ.
8. *Ivanov, A. Silos premium-klassa - pri lyuboj pogode* / A. Ivanov // *Zhivotnovodstvo Rossii*. – 2022. – № 3. – S. 48-49. – EDN KESYOT.
9. *Ispol'zovanie konkurentosposobnykh otechestvennykh natural'nykh kormovykh dobavok v molochnom skotovodstve* / A. V. Aristov, S. N. Semenov, D. A. Pirogov [i dr.] ; Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I. – Voronezh : Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2021. – 123 s. – ISBN 978-5-7267-1166-9. – EDN YVXJAJ.
10. *Konservirovanie zlakovo-bobovoj travosmesi irannespelykh gibridov kukuruzy s ispol'zovaniem biopreparatov rossijskogo proizvodstva* / V. P. Klimenko, A. S. Abramyan, B. A. Osipyan [i dr.] // *Veterinariya i kormlenie*. – 2024. – № 4. – S. 46-50. – DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-4-8. – EDN AOJHOC.
11. *Normy potrebnostej molochnogo skota i svinej v pitatel'nykh veshchestvakh : Posvyashchaetsya 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika Alekseya Petrovicha Kalashnikova (1918–2010)* / R. V. Nekrasov, A. V. Golovin, E. A. Mahaev [i dr.] ; Federal'nyj nauchnyj centr zhivotnovodstva – VIZh imeni akademika L.K. Ernsta; Pod red. R.V. Nekrasova, A.V. Golovina, E.A. Mahaeva. – Moskva : Rossijskaya akademiya nauk, 2018. – 290 s. – ISBN 978-5-906906-77-9. – EDN XVLDM.
12. *Pozdnyakova, V. F. Sokrashchenie ekonomicheskikh poter' s pomoshch'yu primeneniya konservantov Fermasil i Vitasil v usloviyah sovremennogo promyshlennogo molochnogo kompleksa* / V. F. Pozdnyakova, O. V. Latysheva, A. V. Ivanov // *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. – 2020. – № 4(161). – S. 52-54. – EDN MFSRNS.
13. *Suslova, I. Kachestvennyj silos s konservantom Bonsilazh Forte* / I. Suslova, L. Smirnova, S. Zezin // *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. – 2012. – № 8. – S. 24-25. – EDN PUABBR.
14. *Effektivnost' primeneniya biokonservanta Fermasil pri silosovanii kormovykh trav* / D. V. Kashirin, V. V. Dzhavahiya, E. V. Glagoleva [i dr.] // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2024. – № 110. – S. 211-214. – DOI 10.21515/1999-1703-110-211-214. – EDN CSGJKI.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Есаулова Лидия Алексеевна, канд. биол. наук, доцент кафедры общей зоотехнии, ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, esaulovalida@yandex.ru

Васильев Алексей Алексеевич, д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой кормления и кормопроизводства, ФГБОУ ВО Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина», alekseyvasiliev@yandex.ru

Артемьев Евгений Сергеевич, канд. с.-х. наук, зав. кафедрой общей зоотехнии, ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, evgeartemov@yandex.ru

Author information

Esaulova Lidia A., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of General Animal Husbandry, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I esaulovalida@yandex.ru

Vasilyev Alexey A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Feeding and Feed Production, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin» alekseyvasiliev@yandex.ru

Artemov Evgeny S., Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of General Animal Husbandry at the Emperor Peter I Voronezh State Agrarian University evgeartemov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.11.2025; одобрена после рецензирования 4.12.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 10.11.2025; approved after reviewing 4.12.2025; accepted for publication 15.12.2025



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, № 4, с. 32-38
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, № 4, pp. 32-38

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.11: 551.583 (470.57)
DOI: 10.36508/RSATU.2025.87.76.005

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА БАШКОРТОСТАНА

Камиль Рафаэлевич Исмагилов¹, Идель Димович Давлетшин² ✉

¹Уфимский исследовательский центр РАН, г. Уфа, Россия

²ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия

¹ismagilovkr@gmail.com

²davletshin.idel@list.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Наблюдается глобальное изменение климата. В связи с этим важно изучить особенности климатических изменений и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур в отдельных регионах. Цель данного исследования заключалась в количественной оценке тенденций изменения агроклиматических ресурсов и их воздействия на урожайность яровой пшеницы в северо-восточном регионе Республики Башкортостан.

Методология. Исследование проводилось путем анализа научной литературы, обработки статистических и экспериментальных данных, а также организации полевых экспериментов и наблюдений. Источниками данных служили информация о среднемесячной температуре и количестве осадков, собранная на государственной метеорологической станции Дуван, а также данные об урожайности яровой пшеницы, предоставленные Федеральной службой государственной статистики. Для оценки взаимосвязи между агроклиматическими показателями и урожайностью яровой пшеницы использовался коэффициент корреляции (r).

Результаты. За последние 59 лет среднегодовая температура на северо-востоке Башкортостана увеличилась с 1,14 до 3,34 °С. В период с мая по август ежегодное повышение суммы температур составило 3,82° С. Изменения в количестве осадков были разнонаправленными и варьировались в зависимости от месяца, но в период вегетации сельскохозяйственных культур практически не наблюдалось значительных изменений (всего 5,6 мм за столетие). Увеличение атмосферных осадков в период активной вегетации ($r = 0,341$), особенно в мае ($r = 0,440$) и июле ($r = 0,302$), положительно сказывается на формировании урожая. В то же время повышение температурного режима в вегетационный период приводит к снижению урожайности яровой пшеницы. Наиболее негативное влияние оказывает повышение температуры в первой половине вегетации пшеницы ($r = -0,448 -0,523$).

Заключение. В северо-восточном регионе Республики Башкортостан отмечается незначительное увеличение количества осадков, значительное повышение температуры и улучшение теплообеспеченности. Увеличение осадков в период активной вегетации оказывает положительное влияние на урожайность яровой пшеницы, особенно важны осадки в мае и июле. Повышение температуры и общее увеличение ресурсов тепла в период вегетации оказывают негативное воздействие на урожайность.

Ключевые слова: изменение агроклиматических ресурсов, сумма осадков, сумма температур, пшеница яровая, урожайность, Башкортостан

Для цитирования: Исмагилов К.Р., Давлетшин И.Д. Изменение агроклиматических ресурсов и урожайность пшеницы яровой в условиях северо-восточного региона Башкортостана // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, № 4, С.32-38 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.87.76.005>



Original article

CHANGES IN AGROCLIMATIC RESOURCES AND SPRING WHEAT YIELD IN THE NORTH-EASTERN REGION OF BASHKORTOSTAN

Kamil Rafaelevich Ismagilov¹, Idel Dimovich Davletshin²✉¹Ufa Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia²Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia¹ismagilovkr@gmail.com²davletshin.idel@list.ru**Abstract.**

Problem and purpose. The climate is confirmed by global change. In this regard, it is important to know the features of climate change and its impact on the formation of crop yields in certain regions in order to develop effective adaptive agricultural technologies. The aim of the study was to quantify the trend of changes in agroclimatic resources and its impact on spring wheat yields in the north-eastern region of the Republic of Bashkortostan.

Methodology. The research was carried out by analyzing and summarizing scientific information in published sources, analyzing statistical and experimental data, conducting field experiments and conducting field observations. The initial information of the study was the data of the average monthly temperature and the amount of precipitation of the state meteorological station Duvan, the data of spring wheat yield of the Federal State Statistics Service. The closeness of the relationship between agroclimatic indicators and spring wheat yields was estimated by the correlation coefficient (r).

Results. Over the past 59 years, the average annual air temperature in the north-east of Bashkortostan has increased from 1.14 to 3.34° C in the period "may-august" the annual increase in the sum of temperatures amounted to 3.82 °C. Changes in the amount of precipitation occurred in different directions and to varying degrees in some months of the year, and during the growing season of field crops practically did not change (only 5.6 mm per century). An increase in the amount of precipitation during the active vegetation period ($r = 0.341$), especially in May ($r = 0.440$) and in July ($r = 0.302$) has a positive effect on the formation of the crop. An increase in the heat resources of the growing season causes a decrease in the yield of spring wheat. The most negative effect is the increase in air temperature in the first half of the wheat vegetation ($r = -0.448 - 0.523$).

Conclusion. In the north-eastern region of the Republic of Bashkortostan there is a slight increase in the amount of precipitation, a significant increase in air temperature and heat supply. An increase in the amount of atmospheric precipitation during the active vegetation period had a positive effect on the formation of the spring wheat crop, especially precipitation in May and July.

Key words: change in agroclimatic resources, amount of precipitation, sum of temperatures, spring wheat, yield, Bashkortostan

For citation: Ismagilov K. R., Davletshin I. D. Changes in agroclimatic resources and spring wheat yields in the north-eastern region of Bashkortostan // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No 4, P.32-38 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.87.76.005>

Введение

За последние десятилетия климат планеты претерпел значительные изменения, и этот процесс наблюдается как в глобальном масштабе, так и на локальном уровне, включая Россию и Республику Башкортостан [1, 2]. В степной зоне Зауралья Башкирии зафиксировано снижение осадков на 19,2 % в период вегетации полевых культур, а также повышение температуры воздуха на 6,2 % и суммы положительных температур за год на 5,2 % [3]. Эти изменения привели к увеличению частоты лет с недостаточной влагообеспеченностью (41,7-51,7 %), что часто вызывает засухи [4, 5]. Климатические ресурсы играют ключевую роль в производственном процессе и урожайности сельскохозяйственных культур [6,7]. Климатические и погодные условия влияют на урожайность через изменения в засоренности, развитии болезней и вредителей [8, 9].

В Среднем Урале повышение температуры воздуха и суммы эффективных температур в мае-июле негативно сказывается на урожайности яровой пшеницы. Наблюдается тенденция увеличения урожая зерна пшеницы при увеличении осадков в летний период [10]. В Средневолжском регионе выявлена отрицательная корреляция между урожайностью и температурой июня ($r = -0,806$), а также положительная корреляция между урожайностью и осадками за вегетацию ($r = 0,823$) [11]. В Самарской области сбор зерна яровой пшеницы наиболее сильно зависит от суммы осадков в период от всходов до колошения ($r = 0,70-0,72$) [12]. Однако в северо-восточном регионе Республики Башкортостан отсутствуют научные данные об изменении климата и его влиянии на урожай яровой пшеницы. Для создания эффективных адаптивных технологий, которые будут учитывать новые климатические реалии,



необходимо глубоко понимать особенности изменения климата и его воздействие на урожай сельскохозяйственных культур [13, 14]. В связи с этим целью данного исследования стало количественное определение тенденций изменения климата и оценка его влияния на урожайность яровой пшеницы в северо-восточном регионе Республики Башкортостан.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования использовались данные о среднемесячной температуре и количестве осадков, собранные на государственной метеорологической станции Дуван. Эти данные относятся к Дуванскому муниципальному району Республики Башкортостан. Сведения об урожайности яровой пшеницы в северо-восточных районах республики были взяты из базы данных Федеральной службы государственной статистики.

Анализ агроклиматических ресурсов проводился за период с 1966 по 2023 и 2024 год, начиная с момента интенсивного глобального потепления, которое началось с 1970 года. В 1966 году произошли изменения в методиках агрометеорологических наблюдений, включая внедрение осадкомера конструкции Третьякова и переход от 4-срочных к 8-срочным наблюдениям, что повлияло на время измерений.

На основе среднемесячной температуры и количества осадков рассчитывались сумма положительных температур и сумма осадков за вегетационный период полевых культур, который охватывает май-август. Для характеристики агроклиматических ресурсов и их изменчивости использовались коэффициент вариации (V), гидротермический коэффициент (ГТК) по методике Г.Т. Селянинова и коэффициент регрессии (R). Также

проводились полевые наблюдения за формированием урожая яровой пшеницы в крестьянско-фермерском хозяйстве (КФХ) «Юлай» Салаватского района Башкортостана в период с 2015 по 2024 год. Высота растений измерялась с помощью мерной линейки, индекс площади листьев (LAI) определялся с использованием устройства CI-110 CID Bio-Science, а содержание хлорофилла (CCI) в листьях – прибором Arogee MC-100. Теснота связи между агроклиматическими показателями и урожайностью яровой пшеницы оценивалась с помощью коэффициента корреляции (r). Диаграммы, линии трендов, уравнения регрессии и статистические показатели рассчитывались с использованием программы Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Ресурсы влаги для полевых культур определяются количеством атмосферных осадков. Расчеты показали, что среднегодовая сумма осадков в северо-восточной части республики в период с 1966 по 2024 год составляет 514 мм. Осадки, выпадающие в вегетационный период, оказывают значительное влияние на рост, развитие растений и формирование урожая полевых культур. Сумма осадков в активный вегетационный период составила 250,6 мм, причем их количество варьировалось в зависимости от месяца: от 47,2 мм в мае до 76,3 мм в июле (табл.1). Годовая сумма осадков подвержена значительным колебаниям по годам. Коэффициент вариации годовой суммы осадков равен 19,9 %, а в отдельные месяцы и за весь вегетационный период этот показатель достигает высоких значений (47,6-59,1 %). По гидротермическому коэффициенту для периода май-август северо-восточная лесостепь классифицируется как влажная зона (ГТК больше 1,3).

Таблица 1 – Статистическая характеристика агроклиматических ресурсов северо-восточной лесостепи Республики Башкортостан (1966-2024 гг.)

| Месяц | Сумма осадков, мм | | Температура воздуха, ° C | | | ГТК май- август |
|------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| | средняя арифметическая, мм | Коэффициент вариации, % (V) | средняя арифметическая, ° C | коэффициент вариации, % (V) | сумма температур, ° C | |
| Май | 47,2 | 59,05 | 11,347 | 19,07 | 351,76 | 1,34 |
| Июнь | 62,1 | 58,05 | 15,911 | 13,10 | 477,33 | 1,30 |
| Июль | 76,3 | 56,28 | 17,820 | 10,63 | 552,42 | 1,38 |
| Август | 65,0 | 47,61 | 15,427 | 12,91 | 478,24 | 1,36 |
| Май-август | 250,6 | - | 15,01 | - | 1859,75 | 1,35 |

Анализ данных за период с 1966 по 2024 год показал, что годовое количество осадков имеет тенденцию к увеличению (рис. 1). Коэффициент регрессии составил 0,379, что означает средний прирост осадков в размере 0,379 мм в год. Однако внутри года наблюдаются значительные колебания в суммах осадков по месяцам. В марте, апреле, мае, ноябре и декабре количество осадков выросло на 14-20 мм за последние 100 лет, тогда как в июне, июле, сентябре и октябре оно снизилось на 7-19 мм.

В мае наблюдается значительное увеличе-

ние осадков, коэффициент регрессии которых составляет 0,202. Это означает, что за столетие количество осадков выросло на 20,2 мм. В сентябре, напротив, зафиксировано снижение уровня осадков, коэффициент регрессии равен 0,195. В период с мая по август, когда происходит активный рост сельскохозяйственных растений, осадки увеличиваются незначительно – всего на 5,6 мм за столетие.

Тепловой режим на северо-востоке республики относительно низкий. В период активной вегетации полевых культур средняя сумма темпера-



тур составляет около 1860 градусов. Колебания температуры воздуха в разные месяцы и общая сумма температур в течение активного периода роста растений меняются незначительно (табл.1). Исследования показали стабильное повышение средней температуры воздуха в северо-восточном регионе (рис. 2). Анализ динамики температур выявил, что за последние 59 лет средняя температура увеличилась с $1,14^{\circ}\text{C}$ до $3,34^{\circ}\text{C}$, что составляет общий рост на $2,2^{\circ}\text{C}$ или ежегодное увеличение на $0,037^{\circ}\text{C}$.

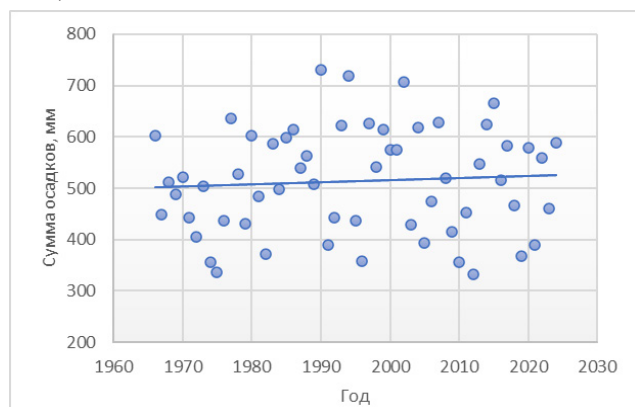


Рис. 1 – Тренд среднегодовой суммы осадков на северо-востоке республики в 1966-2024 гг.

Fig. 1 – Trend of the average annual precipitation in the north-east of the republic in 1966-2024

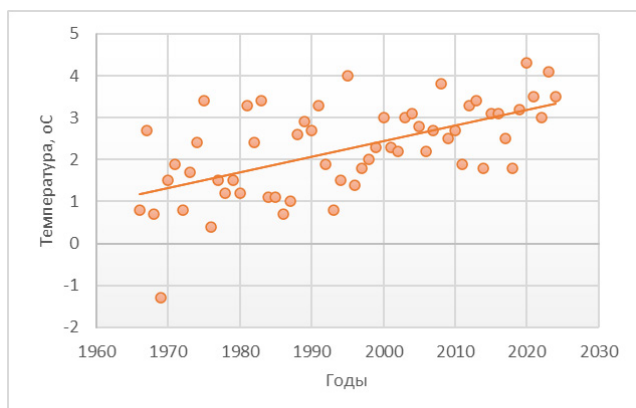


Рис. 2 – Тренд температуры воздуха в северо-восточной лесостепи в 1966-2024 гг.

Fig. 2 – Trend of air temperature in the northeastern forest-steppe in 1966-2024

Температура повышалась во все месяцы года, но с разной интенсивностью. Наибольшее потепление зафиксировано в январе, феврале, марте, августе, октябре и декабре. Коэффициенты регрессии для этих месяцев составляют 0,0713; 0,0641; 0,0436; 0,425; 0,0525 и 0,0335 соответственно.

В период активной вегетации полевых культур также наблюдается общее потепление (рис.3). В течение месяцев «май-август» средние температуры ежегодно возрастают на $3,82^{\circ}\text{C}$, что за 100 лет составляет 382°C . Согласно расчётам по уравнению регрессии, сумма температур в этом периоде в начале исследуемого периода (1966 г.) была

$1748,9^{\circ}\text{C}$, а к концу периода (2024 г.) она достигла $1970,7^{\circ}\text{C}$. Повышение температур отмечается в каждом месяце вегетационного периода. В мае за 100 лет температура поднялась на 92°C , в июне – на 71°C , в июле – на 87°C , а в августе – на 132°C .

Также отмечается увеличение засушливости климата в северо-восточной лесостепи, хотя зона остаётся достаточно влажной. Гидротермический коэффициент снизился с 1,48 (1966 г.) до 1,38 (2024 г.).

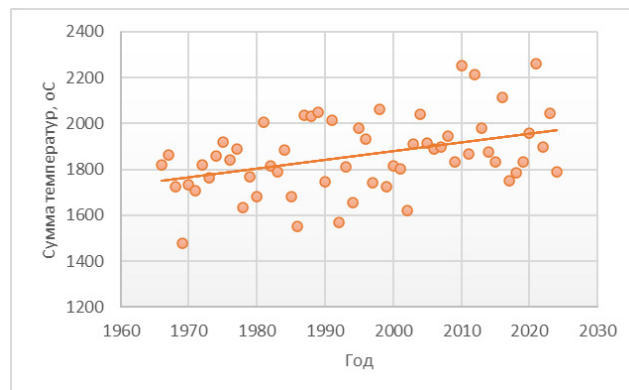


Рис. 3 – Тренд суммы температур периода «май-август» в северо-восточной лесостепи в 1966-2024 гг.

Fig. 3 – Trend of the sum of temperatures of the period "may-august" in the northeastern forest-steppe in 1966-2024

В последние годы (2012-2023) яровая пшеница в северо-восточном регионе Республики высевается на площади более 27 тысяч гектаров, что составляет около 21 % от всех посевных площадей. Урожайность этой культуры в хозяйствах региона остаётся относительно низкой и варьируется из года в год. В среднем за указанный период она составила 13,99 центнеров с гектара, при этом коэффициент вариации (V) достигает 27,8 %.

Корреляционно-регрессионный анализ показывает, что урожайность яровой пшеницы существенно зависит от агроклиматических условий. Увеличение количества осадков в северо-восточной лесостепи оказывает положительное влияние на формирование урожая, несмотря на уже достаточно влажные условия в этой зоне. Коэффициент корреляции (r) между суммой осадков за май-август и урожайностью составляет 0,341. Согласно уравнению регрессии, увеличение суммы осадков на 100 миллиметров приводит к повышению урожайности на 1,49 центнера с гектара.

Наибольшее влияние на урожайность яровой пшеницы оказывают осадки в мае ($r = 0,440$) и июле ($r = 0,302$). Осадки в июне оказывают слабое влияние, а в августе их воздействие статистически несутственно.

Тепловые ресурсы северо-восточного региона республики (1860°C) полностью удовлетворяют потребности яровой пшеницы ($1500-1750^{\circ}\text{C}$). Повышение температуры воздуха и общее увеличение тепла в период вегетации негативно сказывается на урожайности яровой пшеницы (табл. 3).



С мая по август, в фазу активного развития, рост суммарной температуры оказывает умеренное негативное влияние на продуктивность культуры (коэффициент корреляции $r = -0,460$).

Особенно неблагоприятно увеличение температуры воздуха в первой половине вегетационного периода яровой пшеницы (рис. 4). Повышение температуры в мае существенно снижает урожайность ($r = -0,523$), а в июне – умеренно ($r = -0,448$)

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции (r) и уравнения регрессии зависимости урожайности (ц/га) от суммы осадков (m) и температуры воздуха (t) на северо-востоке республики

| Месяц | От суммы осадков, мм (m) | | От температуры, °C (t) | |
|------------------|------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | r | уравнение | r | уравнение |
| Май | 0,440 | $Y = 0,071 m + 10,787$ | - 0,523 | $Y = - 0,887 t + 25,13$ |
| Июнь | 0,189 | $Y = 0,021 m + 12,831$ | - 0,448 | $Y = - 0,843 t + 27,456$ |
| Июль | 0,302 | $Y = 0,032 m + 11,616$ | - 0,114* | $Y = - 0,010 t + 14,166$ |
| Август | 0,044* | $Y = 0,004 m + 13,742$ | - 0,179 | $Y = - 0,485 t + 9,136$ |
| Сумма май-август | 0,341 | $Y = 0,015 m + 10,4$ | - 0,460 | $Y = - 0,011 t + 35,021$ |
| Год | 0,329 | $Y = 0,012 m + 7,847$ | - 0,067+ | $Y = - 0,338 t + 12,941$ |

Примечание: * – статистически несущественный коэффициент по t-критерию Стьюдента при уровне значимости 0,05

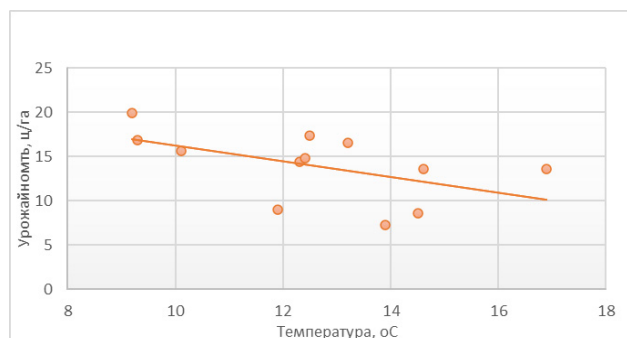


Рис. 4 – Линия регрессии урожайности пшеницы яровой от температуры воздуха в мае (2015-2024 гг.)

Fig. 4 – Regression line of spring wheat yield from air temperature in May (2015-2024)

Повышение температуры на 1°C приводит к снижению урожайности яровой пшеницы в указанные месяцы на 0,886 и 0,842 центнера с гектара соответственно. В июле температурные условия практически не влияют на урожайность этой культуры.

Исследования, проведенные в крестьянско-фермерском хозяйстве «Юлай» Салаватского района, показали, что высокая температура ускоряет развитие растений, уменьшает количество побегов и элементов зачаточного колоса, а также снижает площадь листьев и содержание хлорофилла. Это связано с увеличением засушливости климата, вызванной ростом температуры и одновременным уменьшением количества осадков в мае. Однако зависимость между этими показателями выражена умеренно (коэффициент корреляции $r = -0,311$). Согласно расчётам, коэффициент регрессии R составил 4,0, это означает,

что каждый дополнительный градус повышения температуры в мае сопровождается снижением осадков на 4 миллиметра. Например, в мае 2021 года температура поднялась до $+16,9^{\circ}\text{C}$, а в июне – до $+18,7^{\circ}\text{C}$, что на $5,6^{\circ}\text{C}$ и $2,8^{\circ}\text{C}$ выше средних многолетних значений, соответственно. В результате урожайность яровой пшеницы снизилась до 13,6 центнеров с гектара. В 2022 году, при температуре $+9,2^{\circ}\text{C}$ в мае и $+14,8^{\circ}\text{C}$ в июне, урожайность составила 19,94 ц/га. Индекс листа (LAI) в фазе колошения в 2021 году был на 0,2 меньше, а содержание хлорофилла в листьях (CCI) – на 4,8 единиц ниже, чем в 2022 году.

Заключение

В северо-восточной части Республики Башкортостан наблюдается небольшое увеличение количества осадков, рост температуры и улучшение теплообеспеченности.

За столетний период среднегодовая сумма осадков в этом регионе увеличилась на 37,9 мм. Однако в период активной вегетации сельскохозяйственных растений изменений были незначительными – прирост составил всего 5,6 мм. Колебания осадков были неравномерными и различались по месяцам.

За последние 59 лет (с 1966 по 2024 г.) среднегодовая температура воздуха возросла с $1,14^{\circ}\text{C}$ до $3,34^{\circ}\text{C}$, что составляет увеличение на 2,2 градуса. Наиболее значительный рост температуры наблюдался в зимние и осенние месяцы: январь, февраль, март, август, октябрь и декабрь. В сезон активной вегетации культурных растений (май-август) прирост температуры составил $3,82^{\circ}\text{C}$, или 382°C за столетие.

Урожайность яровой пшеницы в этом регионе сильно зависит от агроклиматических условий. Увеличение осадков в период вегетации по-



ложительно влияет на урожай яровой пшеницы ($r = 0,341$). Особенно важны осадки в мае ($r = 0,440$) и июле ($r = 0,302$). С другой стороны, повышение температуры воздуха в период вегетации негативно сказывается на урожайности яровой пшеницы. Наибольшее отрицательное влияние оказывает рост температуры в первой половине вегетационного периода пшеницы ($r = -0,448 \dots -0,523$). Повышение температуры на один градус в мае и июне приводит к снижению урожая зерна с гектара на 0,886 ц и 0,842 ц соответственно.

Список источников

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научные технологии, 2022. – 124 с.

2. Исмагилов, К.Р. Проявление глобального изменения агроклиматических ресурсов на территории Республики Башкортостан / К.Р. Исмагилов, Р.Р. Исмагилов, И.А. Русаков // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 4. – С. 85-91. – DOI: 10.17513/use.38253.

3. Габбасова, И.М. Изменение климата и риск деградации почв в Зауральской степи Республики Башкортостан / И.М. Габбасова, Н.В. Соболев, Т.Т. Гарипов // Экобиотех. – 2023. – Т. 6, № 1. – С. 45-52. – DOI: 10.31163/2618-964X-2023-6-1-45-52.

4. Камалова, Р.Г. Современные изменения агроклиматических ресурсов в природно-сельскохозяйственных зонах Республики Башкортостан в теплый период / Р.Г. Камалова, А.С. Козлова, А.О. Фирстов // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2023. – Т. 33, № 4. – С. 434-444. – DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-4-434-444.

5. Assessment of Changes in Agroclimatic Resources of the Republic of Bashkortostan (Russia) under the Context of Global Warming / R. Kamalova, E. Bogdan, L. Belan [и др.] // Climate. – 2024. – Vol. 12, No. 1. – pp. 11. – DOI: 10.3390/cli12010011.

6. The environmental consequences of climate-driven agricultural frontiers / L. Hannah, P.R. Roehrdanz, C.I. Donatti // PLoS ONE. – 2020. – Vol. 15, No. 2. – pp. e0228305. – DOI: 10.1371/journal.pone.0228305.

7. Статистические исследования производства ячменя в Рязанской области и прогноз урожайности культуры / О. А. Захарова, О. В. Черкасов, К.

Н. Евсенкин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 19-26. – DOI: 10.36508/RSATU.2022.85.85.002.

8. Зубарев, Ю.Н. Агрометеорологические факторы формирования сорного компонента в агроценозе вики посевной с яровой пшеницей в Среднем Предуралье / Ю.Н. Зубарев, Д.С. Фомин, Т.В. Новикова // Пермский аграрный вестник. – 2022. № 1(37). – С. 39-49. – DOI: 10.47737/2307-2873_2022_37_39.

9. Lyubimova, I. N. Possible Changes in Soils of the Dry Steppe Zone under the Global Climate Change / I. N. Lyubimova // Eurasian Soil Science. – 2022. – Vol. 55, No. 10. – pp. 1482-1489. – DOI: 10.1134/s1064229322100118.

10. Постников, П.А. Изменение погодных условий на Среднем Урале и их воздействие на урожайность яровой пшеницы / П.А. Постников, В.В. Попова, П.Ю. Овчинников [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37. – № 3. – С. 4-9. – DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_4.

11. Таранова, Т. Ю. Влияние агроклиматических условий на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Средневолжского региона / Т. Ю. Таранова, С.Е. Роменская // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. – 2023. – Т. 2, – № 2. – С. 15-20.

12. Горянин О. И. Влияние климата и погодных условий на урожайность зерновых культур в засушливых условиях Поволжья / О. И. Горянин // Земледелие. – 2024. – № 4. – С. 19-24. – DOI: 10.24412/0044-3913-2024-4-19-24.

13. Городнюк, Ю.П., Моделирование урожайности озимых зерновых в современных климатических условиях на примере Брестского района / Ю.П. Городнюк, А.А. Волчек, Ю.А. Мажайский [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2025. – Т. 17. – № 2 – С. 28-34 – DOI: 10.36508/RSATU.2025.57.34.005

14. Ray Biswas, R. Adaptation to climate change: A study on regional climate change adaptation policy and practice framework / R. Ray Biswas, A. Rahman // Journal of Environmental Management. – 2023. – Vol. 336. – pp. 117666. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117666.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii Obshchee rezyume. SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2022. – 124 s.

2. Ismagilov, K.R. Proyavlenie global'nogo izmeneniya agroklimatecheskih resursov na territorii Respubliki Bashkortostan / K.R. Ismagilov, R.R. Ismagilov, I.A. Rusakov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2024. – № 4. – S. 85-91. – DOI: 10.17513/use.38253.

3. Gabbasova, I.M. Izmenenie klimata i risk degradacii pochv v Zaural'skoj stepi Respubliki Bashkortostan / I.M. Gabbasova, N.V. Sobol', T.T. Garipov // Ekobiotekh. – 2023. – Т. 6, № 1. – S. 45-52. – DOI: 10.31163/2618-964X-2023-6-1-45-52.

4. Kamalova, R.G. Sovremennye izmeneniya agroklimatecheskih resursov v prirodno-sel'skohozyajstvennyh zonah Respubliki Bashkortostan v teplej period / R.G. Kamalova, A.S. Kozlova, A.O. Firsov // Vestnik



Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle. – 2023. – T. 33, № 4. – S. 434-444. – DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-4-434-444.

5. Assessment of Changes in Agroclimatic Resources of the Republic of Bashkortostan (Russia) under the Context of Global Warming / R. Kamalova, E. Bogdan, L. Belan [i dr.] // *Climate*. – 2024. – Vol. 12, No. 1. – pp. 11. – DOI: 10.3390/cli12010011.

6. The environmental consequences of climate-driven agricultural frontiers / L. Hannah, P.R. Roehrdanz, C.I. Donatti // *PLoS ONE*. – 2020. – Vol. 15, No. 2. – pp. e0228305. – DOI: 10.1371/journal.pone.0228305.

7. Statisticheskie issledovaniya proizvodstva yachmenya v Ryazanskoj oblasti i prognoz urozhajnosti kul'tury / O. A. Zaharova, O. V. Cherkasov, K. N. Evsenkin [i dr.] // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. – 2022. – T. 14, № 1. – S. 19-26. – DOI 10.36508/RSATU.2022.85.85.002.

8. Zubarev, Yu.N. Agrometeorologicheskie faktory formirovaniya sornogo komponenta v agrocenoze viki posevnoj s yarovoj pshenicej v Srednem Predural'e / Yu.N. Zubarev, D.S. Fomin, T.V. Novikova // *Permskij agrarnyj vestnik*. – 2022. № 1(37). – S. 39-49. – DOI: 10.47737/2307-2873_2022_37_39.

9. Lyubimova, I. N. Possible Changes in Soils of the Dry Steppe Zone under the Global Climate Change / I. N. Lyubimova // *Eurasian Soil Science*. – 2022. – Vol. 55, No. 10. – pp. 1482-1489. – DOI: 10.1134/s1064229322100118.

10. Postnikov, P.A. Izmenenie pogodnyh uslovij na Srednem Urale i ih vozdejstvie na urozhajnost' yarovoj pshenicy / P.A. Postnikov, V.V. Popova, P.Yu. Ovchinnikov [i dr.] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. – 2023. – T. 37. – № 3. – S. 4-9. – DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_4.

11. Taranova, T. Yu. Vliyanie agroklimaticheskikh uslovij na urozhajnost' i kachestvo zerna yarovoj myagkoj pshenicy v usloviyah Srednevolzhskogo regiona / T. Yu. Taranova, S.E. Romenskaya // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. Sel'skohozyajstvennyye nauki*. – 2023. – T. 2, – № 2. – S. 15-20.

12. Goryanin O. I. Vliyanie klimata i pogodnyh uslovij na urozhajnost' zernovyh kul'tur v zasushlivykh usloviyah Povolzh'ya / O. I. Goryanin // *Zemledelie*. – 2024. – № 4. – S. 19-24. – DOI: 10.24412/0044-3913-2024-4-19-24.

13. Gorodnyuk, Yu.P., Modelirovanie urozhajnosti ozimyh zernovyh v sovremennykh klimaticheskikh usloviyah na primere Brestskogo rajona / Yu.P. Gorodnyuk, A.A. Volchek, Yu.A. Mazhayskij [i dr.] // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva*. – 2025. – T. 17. – № 2 – S. 28-34 – DOI.org/ 10.36508/RSATU.2025.57.34.005

14. Ray Biswas, R. Adaptation to climate change: A study on regional climate change adaptation policy and practice framework / R. Ray Biswas, A. Rahman // *Journal of Environmental Management*. – 2023. – Vol. 336. – pp. 117666. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117666.

Contribution of the authors:

All authors have made equivalent contributions to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Информация об авторах

Исмагилов Камиль Рафаэлевич, канд. экон. наук, доцент, зав. лабораторией селекции и семеноводства яровой пшеницы, Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Уфимского исследовательского центра Российской академии наук, Ismagilovkr@gmail.com

Давлетшин Идель Димович, аспирант кафедры растениеводства, селекции растений и биотехнологии, ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет. davletshin.idel@list.ru

About the authors

Ismagilov Kamil R., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Breeding and Seed Production of Spring Wheat, The Bashkir Research Institute of Agriculture is a separate structural unit of the Ufa Research Center of the Russian Academy of Sciences.

Davletshin Idel D., postgraduate student of the Department of Plant Production, Plant Breeding and Biotechnology, Bashkir State Agrarian University.

Статья поступила в редакцию 01.11.2025; одобрена после рецензирования 27.11.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 01.11.2025; approved after reviewing 27.11.2025; accepted for publication 15.12.2025



Вестник РГАТУ. 2025, т.17, №4, с. 39-47
Vestnik RGATU. 2025, Vol.17, №4, pp 39-47

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 628.33
DOI: 10.36508/RSATU.2025.27.51.006

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОЙ КОАГУЛЯЦИИ СВИНОГО НАВОЗА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ

Татьяна Андреевна Колесникова¹✉, Марина Анатольевна Куликова²

^{1,2} ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия

¹ tanechka-ko1986@yandex.ru

² my7rysyk@mail.ru

Анотация.

Проблема и цель. В статье рассмотрена актуальная проблема, связанная с необходимостью оптимизации химической коагуляции свиного навоза при получении органоминерального удобрения. Проведено исследование методов химической коагуляции свиного навоза с целью определения оптимальной комбинации дозировки щелочного реагента и уровня pH, обеспечивающей эффективное разделение твердой и жидкой фракций свиного навоза. Результаты подтверждают перспективность подхода для устойчивого управления отходами свинокомплексов и защиты окружающей среды.

Методология. Исследование основано на применении методики поверхности отклика для оптимизации условий химической коагуляции свиного навоза. Провели серию однофакторных экспериментов для установления границ изменения ключевых параметров (дозы реагента и pH). Использовали двухфакторную трехуровневую модель с комбинациями уровней дозировки реагента 0,5; 1,0; 1,5 г/дм³ и pH (11; 12; 13). Всего провели девять экспериментов, включая две повторные центральные точки. Для нахождения оптимальных условий использовали функцию желательности, учитывающую одновременно оба показателя качества (максимизацию эффективности удаления мутности и стремление дзета-потенциала к нулю).

Результаты. Применение методологии поверхности отклика позволило выявить оптимальные условия химической коагуляции свиного навоза, обеспечивающие высокоэффективное разделение твердой и жидкой фракций. Регрессионные уравнения, описывающие зависимость показателей (эффективность удаления мутности и дзета-потенциал) от выбранных факторов, оказались статистически значимы ($p < 0,05$). Коэффициент детерминации (R^2) показал хорошую согласованность между теоретическими и экспериментальными результатами. Дополнительные контрольные эксперименты в оптимальных условиях подтвердили высокие показатели эффективности разделения, демонстрируя надёжность предложенной модели. Таким образом, исследование подтвердило перспективность применения химической коагуляции с использованием метода поверхности отклика для эффективного управления отходами животноводства и минимизации негативных последствий для окружающей среды.

Выводы. Отклики, полученные с помощью квадратичных моделей, разработанных для эффективности удаления мутности и дзета-потенциала, были статистически значимыми ($p < 0,05$) при 95 % доверительном уровне. Это подтверждает валидность, точность и приемлемость предложенных моделей. Численная оптимизация с использованием функции желательности предсказала, что оптимальная комбинация дозы щелочного реагента при pH 13 составляла 1,5 г/дм³, что приводило к максимальной эффективности мутности (98,6 %) и значению дзета-потенциала 10 мВ. Экспериментальные результаты хорошо согласовывались с прогнозируемыми значениями моделей.

Ключевые слова: свиной навоз, коагуляция, оптимизация, разделение жидкой и твердой фракций, планирование эксперимента



Для цитирования: Колесникова Т.А., Куликова М.А. Оптимизация химической коагуляции свиного навоза при получении органоминерального удобрения // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025. Т.17, №4, С. 39-47 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.27.51.006>

Original article

OPTIMIZATION OF CHEMICAL COAGULATION OF PIG MANURE IN THE PRODUCTION OF ORGANOMINERAL FERTILIZER

Tatyana A. Kolesnikova¹✉, Marina A. Kulikova²

^{1,2} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov", Novocherkassk, Russia

¹ tanechka-ko1986@yandex.ru

² my7rysyk@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. This article examines the pressing issue of optimizing the chemical coagulation of pig manure for the production of organomineral fertilizer. A study of chemical coagulation methods for pig manure was conducted to determine the optimal combination of alkaline reagent dosage and pH level to ensure effective separation of the solid and liquid fractions of pig manure. The results confirm the potential of this approach for sustainable pig farm waste management and environmental protection.

Methodology. This study utilizes response surface techniques to optimize conditions for the chemical coagulation of swine manure. A series of single-factor experiments was conducted to establish the limits for changing key parameters (reagent dosage and pH). A two-factor, three-level model was used with combinations of reagent dosage levels (0.5; 1.0; 1.5 g/dm³) and pH (11; 12; 13). A total of nine experiments were conducted, including two replicate center points. To find optimal conditions, a desirability function was used that simultaneously takes into account both quality indicators (maximizing turbidity removal efficiency and the tendency of the zeta potential to zero).

Results. The use of response surface methodology enabled the identification of optimal conditions for the chemical coagulation of swine manure, ensuring highly efficient separation of the solid and liquid fractions. Regression equations describing the dependence of the parameters (turbidity removal efficiency and zeta potential) on the selected factors were statistically significant ($p < 0.05$, $p < 0.05$). The determination coefficient (R^2) demonstrated good agreement between the theoretical and experimental results. Additional control experiments under optimal conditions confirmed the high separation efficiency, demonstrating the reliability of the proposed model. Thus, the study confirmed the potential of chemical coagulation using the response surface method for the effective management of livestock waste and minimizing negative environmental impacts.

Conclusion. The responses obtained using the quadratic models developed for turbidity removal efficiency and zeta potential were statistically significant ($p < 0.05$) at the 95 % confidence level. This confirms the validity, accuracy, and acceptability of the proposed models. Numerical optimization using a desirability function predicted that the optimal combination of alkaline reagent dosage at pH 13 was 1.5 g/dm³, resulting in maximum turbidity removal efficiency (98.6 %) and a zeta potential of 10 mV. The experimental results were in good agreement with the model predictions.

Key words: pig manure, coagulation, optimization, separation of liquid and solid fractions, experimental design.

For citation: Kolesnikova T.A., Kulikova M.A. Optimization of chemical coagulation of pig manure in the production of organomineral fertilizer // Herald of the Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No. 4, P.39-47 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.27.51.006>

Введение

В последние десятилетия животноводческая деятельность во всем мире стремительно развивается, чтобы удовлетворить пищевые потребности растущего населения. В мире насчитывается 677 миллионов свиней. По данным статистики на 2025 год, в стране ежегодно образуется от 200 до 300 млн тонн навоза и помета, но только 35 % этого объема используется в качестве удобрения. На свиномкомплексе с единовременным содержанием 100 тыс. свиней образуется более 350 тыс. тонн жидкого навоза в год. Неправильное обращение

с отходами животноводства связано со многими негативными экологическими последствиями, такими как избыток питательных веществ на прилегающих землях и образование парниковых газов, таких как CH₄ [1]. Разбавление навоза мочой и технологической водой превращает его в навозную жижу.

В существующих методах ведения сельского хозяйства навозная жижа и твердый навоз вносятся непосредственно в почву в качестве удобрений, что может быть потенциальным источником загрязнения воды и воздуха. Загрязнение воды в



основном происходит из-за утечки хранимого навоза или сброса его без надлежащей очистки, что может привести к увеличению биохимического потребления кислорода (БПК), химического потребления кислорода (ХПК), содержания растворенного аммиака и фосфора в воде, вызывая цветение водорослей в пресноводных системах. Неэффективная обработка навозной жижи или ее отсутствие становится критической проблемой во всем мире [2]. Поэтому необходимо разрабатывать и применять устойчивые методы животноводства и управления навозом, включая эффективные технологии переработки, чтобы избежать негативного воздействия на окружающую среду и способствовать росту промышленности.

Управление навозом чаще всего осуществляется двумя различными способами: анаэробным сбраживанием и разделением на твердую и жидкую фракции. Разделение навоза на твердую и жидкую фракции позволяет получить два вида ресурсов: жидкая фракция содержит высокую концентрацию растворимого азота, который является биогенным элементом, применяемым в качестве удобрения в сельском хозяйстве, а полученная твердая фракция, содержащая органические вещества, фосфор и твердые частицы, может быть использована для производства органоминерального удобрения.

Часто используемые методы разделения твердой и жидкой фракций включают физические методы, такие как осаждение, центрифугирование, шнековое прессование, просеивание и фильтрация. Однако некоторые из них требуют больших затрат энергии. Химическая коагуляция является одним из экономически эффективных и легко применимых решений для разделения твердой и жидкой фракции свиного навоза. В результате добавления коагулянтов дисперсные и коллоидные частицы в растворе агрегируют и образуют хлопья. В работах [3-5] представлены способы получения органоминерального удобрения путем разделения свиного навоза на фракции методом химической коагуляции с применением в качестве коагулянтов различных кальцийсодержащих щелочных реагентов.

Однако важно оптимизировать процесс коагуляции для повышения эффективности разделения твердой и жидкой фракций в жидком навозе при одновременном снижении использования реагентов. Имеется ограниченное количество информации об оптимизации химической коагуляционной обработки с использованием коагулянтов для разделения твердой и жидкой фаз в жидком навозе свинокомплексов с применением методологии поверхности отклика [6]. В данной работе проведены однофакторные эксперименты с последую-

щим применением методологии поверхности отклика для оптимизации дозировок коагулянтов и начального pH для разделения твердой и жидкой фракций в жидком навозе свинокомплексов. Оценивались такие показатели, как эффективность удаления мутности и дзета-потенциал.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в период с 2020г по 2022г. Жидкий навоз отбирали на территории свинокомплекса в Зерноградском районе Ростовской области из системы навозоудаления. После процеживания и разбавления жидкий навоз имел следующие характеристики: pH – 7,1; электропроводность – 730 мСм/см; дзета-потенциал – 19 мВ; взвешенные вещества – 1530мг/л, мутность – 2045. Концентрация взвешенных веществ определялась гравиметрическим способом [7], включающим фильтрование пробы через вакуумный фильтр. Мутность определяли с применением фотоэлектроколориметра по методике основанной на фиксации рассеивания света в толще жидкости [8]. Дзета-потенциал определен методом динамического рассеяния света по ГОСТ [9]. pH определяли потенциометрическим методом [10] с помощью прибора Экотест 2000. Предыдущие исследования показали, что суспензия дефекационной извести (отход сахарного производства) является наиболее эффективным коагулянтом среди применяемых для разделения жидкого свиного навоза на фракции [5]. В данном исследовании мы рассматриваем суспензию дефекационной извести в качестве коагулянта (щелочного реагента). Предварительные диапазоны дозировки щелочного реагента и pH для разделения твердой и жидкой фракций в свином навозе были определены в ходе однофакторных экспериментов. Испытания в мерных цилиндрах проводились для дозы щелочного реагента и pH в диапазонах 0,5-1,0г/дм³ и 11-13, соответственно. После определения предварительных диапазонов доз и pH была применена модель, реализующая статистический и математический метод, используемый для определения взаимосвязи между независимыми факторами и откликом для исследования наилучшего сочетания этих параметров для достижения максимальной эффективности разделения твердой и жидкой фракций при минимальном использовании химикатов. Этот метод используется для подгонки полиномиального уравнения к экспериментальным результатам. Модель представлена в таблицах 1 и 2. Для оптимизации коагуляции свиного навоза использовалась двухфакторная трехуровневая модель. Были выбраны две независимые переменные: доза щелочного реагента (суспензия дефекационной извести) (А), и pH (В). Три уровня (-1, 0 и +1).

Таблица 1 – Независимые переменные и их значения

| Независимые переменные(ед) | символ | Кодированные уровни | | |
|---|--------|---------------------|------------|-------------|
| | | нижний (-1) | нулевой(0) | верхний (+) |
| Доза щелочного реагента г/дм ³ | А | 0,5 | 1,0 | 1,5 |
| pH | В | 11 | 12 | 13 |



Таблица 2 – Параметры оптимизации процесса

| Переменные отклика (ед) | символ | ограничения |
|-------------------------------------|--------|------------------|
| Эффективность удаления мутности (%) | Y_1 | максимизировать |
| Дзета-потенциал (мВ) | Y_2 | Нулевое значение |

В качестве откликов для оптимизации были выбраны эффективность удаления мутности и дзета-потенциал. Для расчета общего количества экспериментов использовалось следующее уравнение (1) [7]:

$$N = 2K(K - 1) + C_0, \quad (1)$$

где K – количество независимых переменных,
 C_0 – количество центральных точек.

Было проведено 9 экспериментов, включая две центральные точки. Для представления наблюдаемого отклика при каждом условии использовались средние значения трехкратных измерений. Для аппроксимации наблюдаемых данных отклика (экспериментальных данных) использовалось следующее широко используемое уравнение полинома второго порядка (2). Было изучено влияние независимых переменных (линейной, квадратичной и интерактивной) на отклик.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon, \quad (2)$$

где Y – прогнозируемая переменная отклика для входных независимых переменных модели (X_i, X_j);

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ – коэффициенты регрессии для коэффициентов пересечения, линейного, квадратичного и взаимодействия соответственно;

ε – случайная ошибка различных источников изменчивости.

Статистическая значимость уравнений модели была проверена с помощью дисперсионного анализа со значениями F -критерия и соответствующими p -значениями для каждого отклика. Согласованность модели была выявлена с использованием коэффициента детерминации (R^2), скорректированного R^2 и достаточной точности. Для определения оптимального взаимодействия и области использовались трёхмерные графики поверхности отклика. После численной оптимизации с использованием функции желательности оптимальные условия коагуляции были определены путём фиксации желаемых значений для максимальной эффективности удаления мутности и нулевого дзета-потенциала (табл. 2). Численная модель была подтверждена путём проведения экспериментов в оптимальных условиях. Каждая серия экспериментов проводилась с 1 дм³ 6-кратно разбавленных образцов свиного навоза. На первом этапе к свиному навозу добавляли щелочной реагент (суспензию дефекационной извести) и быстро перемешивали со скоростью 200 об/мин в течение 3 мин. На протяжении всего опыта измеряли дзета-потенциал и pH. После 30-минутного отстаивания отбирали пробы осветленной воды с глубины 5 см от поверхности и оценивали эффективность удаления мутности в процентах. Дзета-потенциал анализировали с помощью анализато-

ра дзета-потенциала и размера частиц Photocor Compact-Z российского производства. Значения pH измеряли на Экотест-2000. Мутность измеряли с помощью прибора-мутномера WTW Turb 355 IR.

Результаты исследований и их обсуждение

Дзета-потенциал является ключевым параметром, используемым для оценки эффективности коагуляции, обеспечивающим точную меру нейтрализации заряда. Когда дзета-потенциал приближается к нулю, это указывает на оптимальные условия для агрегации твердых веществ. Коллоидные частицы, несущие одинаковый электрический заряд, испытывают электростатическое отталкивание, это заставляет их отталкиваться друг от друга, что приводит к образованию стабильной коллоидной системы [4]. Для преодоления этого отталкивания между частицами требуется внешняя энергия, что приводит к дестабилизации коллоидной системы. Как показано на рисунке 1А, эффективность удаления мутности возрастала с увеличением дозы щелочного реагента. Однако при дозе 1,75 г/дм³ эффективность удаления мутности оставалась практически постоянной: несмотря на увеличение дозы реагента, существенного дальнейшего снижения мутности не наблюдалось. По мере постепенного увеличения дозы щелочного реагента дзета-потенциал увеличивался вследствие уменьшения силы отталкивания между частицами. Как показано на рисунке 1Б, дзета-потенциал достигал нуля при дозе щелочного реагента от 1,3 до 1,4 г/дм³ вследствие нейтрализации заряда.

Кроме того, было определено влияние pH на разделение твердой и жидкой фракций свиного навоза. Исследовался pH в диапазоне 6-13. При pH 13 наблюдалась максимальная эффективность удаления мутности, достигающая 98 %. Существенной разницы в эффективности удаления мутности между значениями pH от 11 до 13 не наблюдалось (рис. 2).

По мере повышения pH эффективность удаления мутности постепенно повышается. Наибольшая эффективность удаления мутности, зафиксированная при pH 13, составила 98 %. Более того, дзета-потенциал жидкой фракции демонстрировал крайне отрицательные значения при кислых значениях pH, что указывает на недостаточную дестабилизацию отрицательно заряженных коллоидов, присутствующих в навозе. При достижении значения pH 11 отмечен дзета-потенциал, равный нулю.

В таблице 3 представлена матрица с реальными и кодированными значениями двух независимых переменных, а также фактическими (экспериментальными) и прогнозируемыми откликами. Было определено влияние каждой независимой переменной и их взаимодействие на отклик.

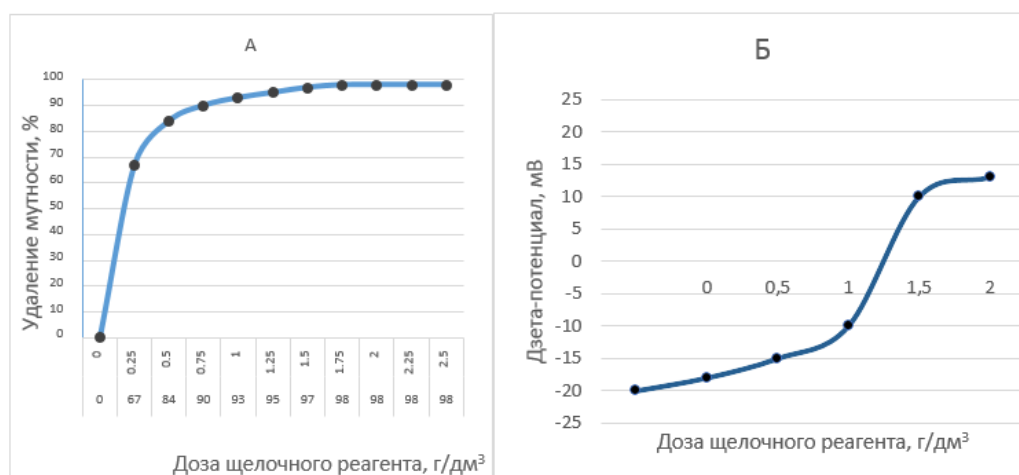


Рис. 1 – Зависимость эффективности удаления мутности (а) и дзета-потенциала (б) свиного навоза от дозы щелочного реагента в результате химической коагуляции
Fig. 1 – Dependence of the efficiency of removing turbidity (a) and zeta potential (b) of pig manure on the dose of alkaline reagent

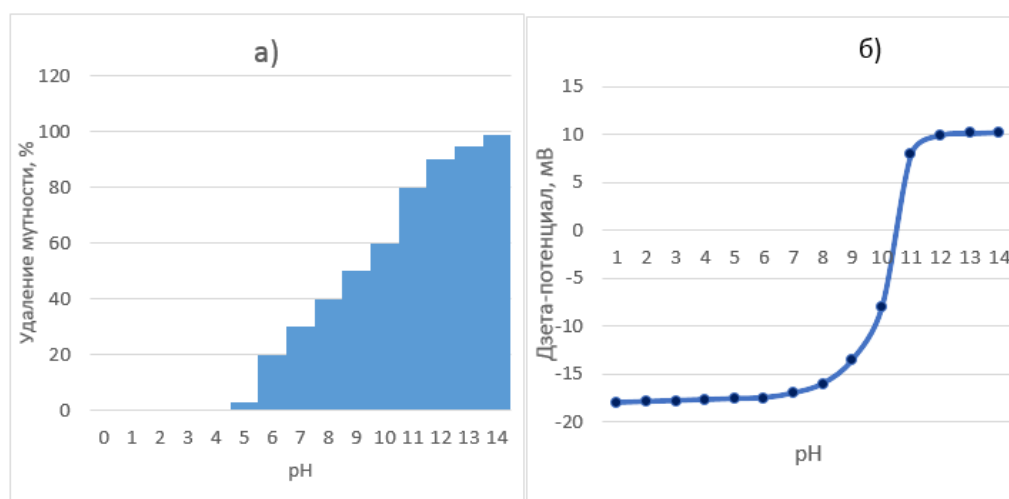


Рис. 2 – Эффективность удаления мутности (а) и дзета-потенциал (б) при различных значениях pH свиного навоза в результате химической коагуляции
Fig. 2 – Turbidity removal efficiency (a) and zeta potential (b) at different pH values of pig manure as a result of chemical coagulation

Таблица 3 – Матрица с фактическими и прогнозируемыми ответами

| № | Условия эксперимента | | Ответ | | | |
|---|-------------------------------|---------|-------------------------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | Доза щелочного коагулянта (А) | pH (В) | Эффективность удаления мутности (%) | | Дзета-потенциал (мВ) | |
| | | | действительный | прогнозируемый | действительный | прогнозируемый |
| 1 | 1,0 (0) | 12 (0) | 95,1 | 95,0 | 1,3 | 1,3 |
| 2 | 1,0 (0) | 11 (-1) | 93,0 | 93,2 | 3,8 | 3,9 |
| 3 | 1,5 (+1) | 13 (+1) | 98,8 | 99,0 | 10,0 | 10,1 |
| 4 | 1,5 (+1) | 12 (0) | 97,2 | 97,0 | 8,5 | 7,0 |
| 5 | 0,5 (-1) | 12 (0) | 90,1 | 90,0 | 3,2 | 3,0 |
| 6 | 0,5 (-1) | 13 (+1) | 91,2 | 91,0 | 5,3 | 5,0 |
| 7 | 1,0 (0) | 13 (+1) | 98,0 | 98,0 | 2,4 | 2,6 |
| 8 | 0,5(-1) | 11(-1) | 87,6 | 87,9 | -12,2 | -13,2 |
| 9 | 1,5 (+1) | 11 (-1) | 94,5 | 95,0 | 6,5 | 8,0 |

Две независимые переменные (А и В) и переменная отклика (Y) представлены в следующей модели регрессии второго порядка с полиномиальным кодом (4):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_{12} AB + \beta_{11} A^2 + \beta_{22} B^2, \quad (4)$$

где β_0 – коэффициент регрессии;

β_1, β_2 – линейные коэффициенты;

β_{12} – коэффициенты эффекта взаимодействия;

β_{11}, β_{22} – квадратичные коэффициенты.

Переменные отклика второго порядка, представляющие эффективность удаления мутности (Y1), дзета-потенциал (Y2) могут быть выражены как функции независимых переменных с использованием кодированных квадратных уравнений, приведенных в уравнениях (5), (6) которые применяются в множественном регрессионном анализе экспериментальных данных, перечисленных в таблице 3.

$$Y_1 = 102,36 + 0,454A + 0,386B - 0,094AB - 0,018A^2 - 0,057B^2 \quad (5)$$

$$Y_2 = 1,2083 + 0,682A - 0,228B + 0,1275AB + 0,00234A^2 + 0,0126B^2 \quad (6)$$

В данном исследовании коэффициенты полного уравнения использовались без удаления не-

значимых членов для прогнозирования откликов. Значения откликов могут быть рассчитаны в диапазоне матрицы. Согласно таблице 3 предсказанные результаты, полученные с помощью моделей, близко соответствуют экспериментальным данным по мутности. Однако некоторые прогоны показали, что существует расхождение между предсказанными и экспериментальными данными по дзета-потенциалу.

Трехмерные поверхностные графики и соответствующие им контурные диаграммы (рисунки 3, 4) полезны для визуализации влияния взаимодействия двух факторов на разделение твердой и жидкой фракций свиного навоза. Эти графики представляют взаимодействие как функцию двух факторов, в то время как другие параметры зафиксированы на постоянном уровне. Постоянные уровни являются центральными точками параметров: доза щелочного реагента = 1,0 г/дм³, и pH = 12. Изменение цвета на трехмерных поверхностных графиках и соответствующих контурных диаграммах отображает максимальное (красный цвет) и минимальное (синий цвет) значения переменных отклика. Наименьший эллипс на контурных диаграммах указывает на максимальный прогнозируемый отклик.

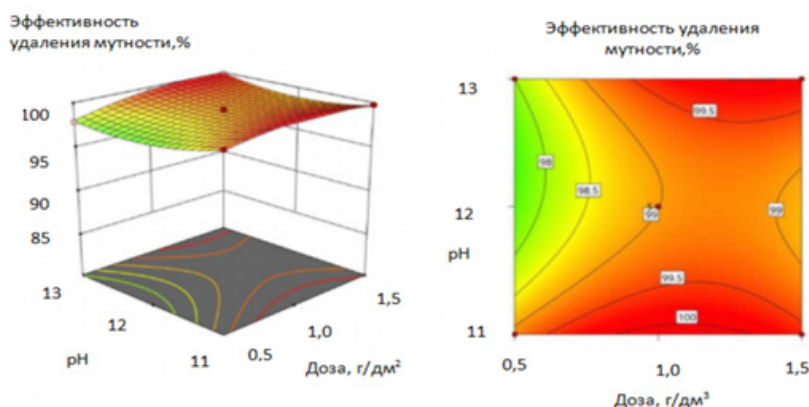


Рис. 3 – График трехмерной поверхности отклика и двумерная контурная диаграмма остаточной мутности в зависимости от дозы щелочного реагента и pH.

Fig. 3 – Three-dimensional response surface graph and two-dimensional contour diagram of residual turbidity as a function of alkaline reagent dose and pH.

На рисунке 3 представлен трехмерный график поверхности отклика и двумерный контурный график, иллюстрирующие влияние дозы щелочного реагента (сuspension дефекационной извести) и pH на эффективность удаления мутности во время обработки свиного навоза. Как показано на рисунке 3, эффективность удаления мутности увеличивалась при увеличении дозы щелочного реагента. Оптимальные условия для откликов точно находились в пределах расчетного диапазона, как очевидный минимум, расположенный на поверхности отклика. Эффект взаимодействия дозы щелочного реагента и pH был значимым при р-значениях 0,0285.

Графики дзета-потенциала (рис.4) показали положительное влияние концентраций щелочного реагента на увеличение дзета-потенциала в положительную сторону. Это связано с тем, что добавление реагента с высоким положительным зарядом и катионными свойствами улучшает

разделение твердой и жидкой фракций свиного навоза, нейтрализуя отрицательно заряженные твердые частицы и способствуя их коагуляции. Значение pH раствора также влияло на дзета-потенциал, поскольку ионы H⁺ нейтрализуют отрицательно заряженные ионы в растворе.

Функция желательности была использована для одновременной оптимизации независимых переменных, что позволило достичь максимального разделения твердой и жидкой фракций свиного навоза. Целевая функция желательности принимает значения от 0 до 1. Близость к нулю означает, что значение отклика выходит за пределы требуемого приемлемого диапазона, а близость к «1» указывает на ожидаемую цель [8-9]. Оптимальные числовые условия были получены путем установки целевых значений независимых переменных, таких как доза щелочного реагента «минимизировать», и pH «целевой 12». Целевыми значениями откликов были установлены



следующие значения: удаление мутности «максимизировать», дзета-потенциал «целевой равен нулю». При использовании нескольких факторов и

откликов все цели становятся связанными с комбинированной желательностью (рис. 5).

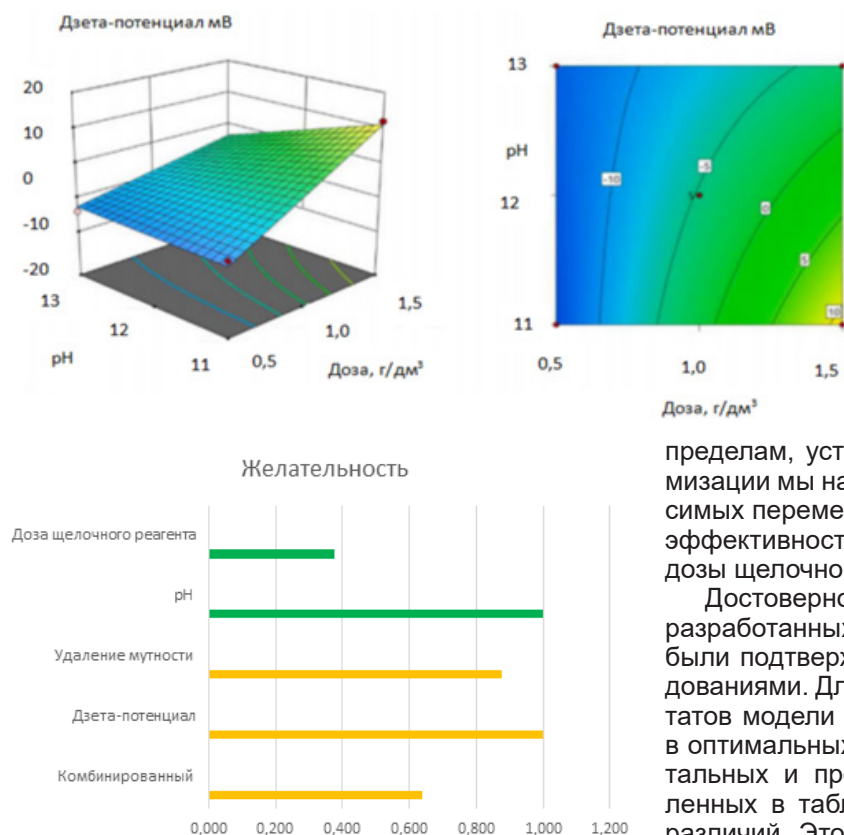


Рис. 5 – Целевая функция желательности
Fig. 5 – The target function of desirability

Следовательно, достижение очень высокого значения желательности является сложной задачей, поскольку это зависит от близости каждого оптимального условия к его верхнему и нижнему

пределам, установленным вначале. В этой оптимизации мы нашли полный набор условий независимых переменных, что приводит к максимальной эффективности при одновременной минимизации дозы щелочного реагента.

Достоверность и предсказуемость моделей, разработанных в ходе численной оптимизации, были подтверждены экспериментальными исследованиями. Для проверки прогнозируемых результатов модели были проведены три эксперимента в оптимальных условиях. Сравнение экспериментальных и прогнозируемых значений, представленных в таблице 4, не выявило существенных различий. Этот результат подтверждает предсказуемость модели, разработанной с использованием методологии поверхности отклика. Следовательно, предложенная в данном исследовании модель может считаться надежной и пригодной для повторного использования в рамках заданного диапазона проектирования.

Таблица 4 – Проверка прогнозируемых результатов экспериментальными исследованиями в оптимальных условиях

| Ответ | Среднее | |
|-------------------------------------|----------------|----------------|
| | действительное | прогнозируемое |
| Эффективность удаление мутности (%) | 98,6 | 99,0 |
| Дзета-потенциал (мВ) | -1,5 | 0 |

Закключение

В данном исследовании разделение твердой и жидкой фракций свиного навоза было оптимизировано с использованием щелочного реагента – суспензии дефекационной извести с использованием методологии поверхности отклика. Отклики, полученные с помощью квадратичных моделей, разработанных для эффективности удаления мутности и дзета-потенциала, были статистически значимыми ($p < 0,05$) при 95 % доверительном уровне. Это подтверждает валидность, точность и приемлемость предложенных моделей. Численная оптимизация с использованием функции

желательности предсказала, что оптимальная комбинация дозы щелочного реагента при pH 13 составляла 1,5 г/дм³, что приводило к максимальной эффективности мутности (98,6 %) и значению дзета-потенциала 10 мВ. Экспериментальные результаты хорошо согласовывались с прогнозируемыми значениями моделей. Полученные результаты оптимизации химической коагуляции свиного навоза позволят наиболее эффективно использовать реагенты при получении органоминерального удобрения и прогнозировать результаты разделения навоза на жидкую и твердую фазы в зависимости от исходных условий.



Список источников

1. Font-Palma, C. Methods for the Treatment of Cattle Manure—A Review // *Journal of Carbon Research*. -2019.-№5-p.27.-DOI: 10.3390/c5020027
2. Makara, A., Kowalski, Z. Selection of pig manure management strategies: Case study of Polish farms// *Journal of Cleaner Production*. -2018.- Pages 187-195.
3. Kolesnikova, T., Kulikova, M. et al. Ammophos efficiency application for treatment highly concentrated by biogenic elements wastes of agro-industrial complexes // *EurAsian Journal of BioSciences*. – 2020. - №579.- DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032108
4. Колесникова, Т., Куликова, М. Анализ процесса коагуляции при реагентном фракционировании жидких отходов свиногомкомплексов// *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2023, Т.15, №4, С.55-59, DOI: 10.36508/RSATU/2023/71/29/008
5. Патент РФ № 2737102, 24.11.2020. Способ подготовки жидких отходов свиногомкомплексов для сельскохозяйственного использования// Патент России №2737102. 2020. Бюл. № 33./ Колесникова Т.А., Куликова М.А., Грибут Е.А., Суржко О.А.
6. Bashir, M., Amr, S. et.al. Wastewater treatment processes optimization using response surface methodology (RSM) compared with conventional methods : review and comparative study department of environmental engineering, faculty of engineering School of civil engineering, engineer, middle-east // *IJSR-№23* (2015), pp. 244-252, 10.5829/idosi.mejsr.2015.23.02.52
7. РД 52.24.468-2019 — «Массовая концентрация взвешенных веществ и сухого остатка в водах. Методика измерений гравиметрическим методом». Введен в действие с 1.11.2020
8. ПНДФ 14.1:2:3:4.213-05 Количественный химический анализ вод. Методика измерений мутности проб питьевых, природных поверхностных, природных подземных и сточных вод турбидиметрическим методом. Москва: Издание 2019
9. ГОСТ 8.653.1-2016. Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения дзета-потенциала. Часть 1. Электрокинетические методы.
10. РД 52.24.495-2017 — «Водородный показатель вод. Методика измерений потенциометрическим методом». Ростов-на-Дону: 2017
11. Thirugnanasambandham, K., Rao Karri, R. Preparation and characterization of Azadirachta indica A. Juss. plant based natural coagulant for the application of urban sewage treatment: Modelling and cost assessment // *Environmental Technology & Innovation*. - Volume 23, August 2021, 101733
12. Meetiyagoda, K., Fujino, T. Optimization of electrocoagulation–flotation treatment with an aluminum anode to enhance Microcystis aeruginosa cell removal efficiency// *J. Water Process Eng.*, №48 (2022), DOI: 102871, 10.1016/J.JWPE.2022.102871
13. Trigueros, D., Braun, L. Environmental and economic feasibility of the treatment of dairy industry wastewater by photo-Fenton and electrocoagulation process: multicriteria optimization by desirability function// *J. Photochem. Photobiol. Chem.*, 427 (2022), DOI: 10.1016/J.JPHOTOCHEM.2022.113820

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Font-Palma, S. Methods for the Treatment of Cattle Manure – A Review // *Journal of Carbon Research*. -2019.-№5-r.27.-DOI: 10.3390/c5020027
2. Makara, A., Kowalski, Z. Selection of pig manure management strategies: Case study of Polish farms// *Journal of Cleaner Production*. -2018.- Pages 187-195.
3. Kolesnikova, T., Kulikova, M. et al. Ammophos efficiency application for treatment highly concentrated by biogenic elements wastes of agro-industrial complexes // *EurAsian Journal of BioSciences*. – 2020. - №579.- DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032108
4. Kolesnikova, T., Kulikova, M. Analiz protsessy koagulyatsii pri reagentnom fraktsionirovanii zhidkikh otkhodov svinokompleksov// *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva*. 2023, T.15, №4, S.55-59, DOI: 10.36508/RSATU/2023/71/29/008
5. Patent RF № 2737102, 24.11.2020. Sposob podgotovki zhidkikh otkhodov svinokompleksov dlya selskokhozyaystvennogo ispolzovaniya// Патент России №2737102. 2020. Byul. № 33./ Kolesnikova T.A., Kulikova M.A., Gribut E.A., Surzhko O.A.
6. Bashir, M., Amr, S. et.al. Wastewater treatment processes optimization using response surface methodology (RSM) compared with conventional methods : review and comparative study department of environmental engineering, faculty of engineering School of civil engineering, engineer, middle-east // *IJSR-№23* (2015), pp. 244-252, 10.5829/idosi.mejsr.2015.23.02.52
7. Thirugnanasambandham, K., Rao Karri, R. Preparation and characterization of Azadirachta indica A. Juss. plant based natural coagulant for the application of urban sewage treatment: Modelling and cost assessment// *Environmental Technology & Innovation*. -Volume 23, August 2021, 101733
8. Meetiyagoda, K., Fujino, T. Optimization of electrocoagulation–flotation treatment with an aluminum anode to enhance Microcystis aeruginosa cell removal efficiency// *J. Water Process Eng.*, №48 (2022), DOI: 102871, 10.1016/J.JWPE.2022.102871
9. Trigueros, D., Braun, L. Environmental and economic feasibility of the treatment of dairy industry wastewater by photo-Fenton and electrocoagulation process: multicriteria optimization by desirability



function//J. Photochem. Photobiol. Chem., 427 (2022), DOI: 10.1016/J.JPHOTOCHEM.2022.113820

10.RD 52.24.495-2017 — «Vodorodny`j pokazatel` vod. Metodika izmerenij potenciometricheskim metodom». Rostov-na-Donu: 2017

11. Thirugnanasambandham, K., Rao Karri,R. Preparation and characterization of Azadirachta indica A. Juss. plant based natural coagulant for the application of urban sewage treatment: Modelling and cost assessment// Environmental Technology & Innovation.-Volume 23, August 2021, 101733

12. Meetiayagoda,K.,Fujino,T.Optimization of electrocoagulation–flotation treatment with an aluminum anode to enhance Microcystis aeruginosa cell removal efficiency// J.Water Process Eng., №48 (2022), DOI: 102871, 10.1016/J.JWPE.2022.102871

13.Trigueros,D., Braun, L. Environmental and economic feasibility of the treatment of dairy industry wastewater by photo-Fenton and electrocoagulation process: multicriteria optimization by desirability function//J. Photochem. Photobiol. Chem., 427 (2022), DOI: 10.1016/J.JPHOTOCHEM.2022.113820

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Колесникова Татьяна Андреевна, ст. препод. кафедры «Экология и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, tanechka-ko1986@yandex.ru

Куликова Марина Анатольевна, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, my7rysyk@mail.ru

Author Information

Kolesnikova Tatyana A., Senior Lecturer, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), tanechka-ko1986@yandex.ru

Kulikova Marina A., PhD in engineering sciences, Associate Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), my7rysyk@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.11.2025; одобрена после рецензирования 01.12.2025; принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 02.11.2025; approved after reviewing 01.12.2025; accepted for publication 15.12.2025.





Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №.4 с.48-57
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №.4, pp.48-57

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 632.915
DOI: 10.36508/RSATU.2025.30.16.007

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННОГО СОСТАВА НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПАТОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Лариса Леонтьевна Косыгина (Свиридова)¹✉, Наталья Сергеевна Жемчужина²

^{1,2} ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», р.п. Большие Вяземы, Российская Федерация

¹Larina67@bk.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Агрессивное влияние патогенов на растения сельскохозяйственного назначения, с которым приходится бороться средствами химической защиты, зачастую отражается на качественных показателях получаемой продукции. Поиск альтернативных решений данной проблемы является основным направлением нашего исследования. Цель исследования – выявить влияние почвенного состава на выживаемость растения в агрессивной среде патогенных организмов. Поиск альтернативных решений данной проблемы является основным направлением нашего исследования, которое рассматривает отражение патогенной агрессии за счет укрепления иммунных факторов самого растения, т.е. за счет обеспечения растения необходимым набором питательных веществ в доступной форме, находящихся в почвенной среде.

Методология. В качестве нормативно-методической основы применены действующие нормативные документы. План ведения исследования разработан с использованием методических рекомендаций К.И. Саранина (1982), Никитенко Г.Ф. (1982), Б.А. Доспехова (1985). Исследования по составлению почвенных смесей с использованием методической рекомендации Роуэлл Д.Л. (1998).

Результаты. Итоговые результаты проведенного исследования показали, что назначенный период в 7 дней отчетливо доказал вмешательство фонового внедрения патогенных организмов в растительные процессы растения. По данным показателям можно сделать вывод, что в зависимости от состояния почвенной среды растение развивает свои продуктивные показатели.

Заключение. Почвенная среда является основным фактором развития растения. Искусственное внедрение заражения патогенными организмами в почвенную смесь доказало, что наличие минеральных элементов в доступной форме, а также структурированность почвы способны оказать помощь растению в противостоянии агрессивной среде. Проведенные исследования показали важность полученных результатов, которые подняли ряд новых вопросов, для решения которых необходимо проводить следующие исследования.

Ключевые слова: почвенный состав, патогенная нагрузка, озимая пшеница, мятлик луговой, выживаемость, иммунитет растений

Для цитирования: Косыгина (Свиридова), Л.Л., Жемчужина Н.С. Влияние почвенного состава на выживаемость растений в условиях патогенной нагрузки // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т. 17, №4. С48-57 <https://10.36508/RSATU.2025.30.16.007>



INFLUENCE OF SOIL COMPOSITION ON PLANT SURVIVAL UNDER CONDITIONS OF PATHOGENIC LOAD

Larisa L. Kosygina (Sviridova)¹ ✉, Natalia S. Zhemchuzhina ²

^{1,2} Federal State Budgetary Scientific Establishment the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology (VNIIF), Bolshye Vyazemye settlement, Russian Federation

¹ Larina67@bk.ru

Abstract.

The problem and the goal. Aggressive manifestation of pathogens on agricultural plants, which has to be combated with chemical protection products, which often affects the quality of the products produced. The search for alternative solutions to this problem is the main focus of our research, which considers the reflection of pathogenic aggression by strengthening the immune factors of the plant itself, i.e. by providing the plant with the necessary set of nutrients in an accessible form in the soil environment. The aim of the study is to identify the effect of soil composition on plant survival in an aggressive environment of pathogenic organisms. The search for alternative solutions to this problem is the main focus of our research, which considers the reflection of pathogenic aggression by strengthening the immune factors of the plant itself, i.e. by providing the plant with the necessary set of nutrients in an accessible form in the soil environment.

Methodology. The current regulatory documents were applied as a normative and methodological basis, the Research Plan was developed using the methodological recommendations of K.I. Saranin (1982), Nikitenko G.F. (1982), B.A. Dospekhov (1985). Studies on the preparation of soil mixtures using the methodological recommendation of Rowell D.L. (1998).

Results. The final results of the study showed that the prescribed period of 7 days clearly proved the interference of the background introduction of pathogenic organisms into the plant processes of the plant. According to these indicators, it can be concluded that, depending on the state of the soil environment, the plant develops its productive indicators.

Conclusion. The soil environment is the main factor in plant development. The artificial introduction of infection by pathogenic organisms into the soil mixture has proved that the presence of mineral elements in an accessible form, as well as the structurality of the soil, can help the plant in resisting an aggressive environment. The conducted studies have shown the importance of the results obtained, which have raised a number of new issues that need to be addressed in the following studies.

Key words: soil composition, pathogenic load, winter wheat, meadow bluegrass, survival, plant immunity

For citation: Kosygina (Sviridova), L.L., Zhemchuzhina N. S. Influence of soil composition on plant survival under conditions of pathogenic load // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.4, P. 48-57 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.30.16.007>

Введение

Политика Российской Федерации направлена на восстановление безопасности и независимости от продовольственных товаров мировой экономики. В связи с этим правительство, ученые и производители сельскохозяйственной продукции уделяют особое внимание продовольственным товарам, где первым пунктом значится зерно с не менее 95 % объемом отечественного производства. В связи с этим ставится основная задача – получить высокопродуктивное зерно. Но не всегда стимулирующие технологии дают положительные результаты, т.к. патогенные организмы являются основным сдерживающим фактором. И здесь возникает проблема – агрессивное влияние патогенов на растения сельскохозяйственного назначения, с которым приходится бороться средствами химической защиты. Но зачастую данные мероприятия отражаются на качественных показателях получаемой продукции, а патогенными организмами приобретает устойчивость приспособляемость к

вносимым средствам защиты. Анализ литературных источников по интересующей проблеме выявил ряд научных изысканий, которые разделены по значимым категориям исследований:

- своевременный мониторинг объектов, подверженных периодичностью заражения болезнями сельскохозяйственных культур (пшеницы, ячменя), заселению вредителями [2,4];
- диагностика заболеваемости с помощью базы данных автоматизированной системы идентификации, создание современных экспертных систем прогнозирования и диагностики болезней растений [3,5,6];
- определение болезни семян с эффективным протравливанием [1];
- усовершенствование приёмов агротехники [7,10];
- селекционные работы по выведению и внедрению в производственные циклы сортов с устойчивостью к проявленным возбудителям болезни [9];



– разработка и внедрение бактериальных штаммов в борьбе с болезнями [8].

Поиск альтернативных решений данной проблемы, осуществленный в научных литературных источниках, показал ряд неординарных решений, предложенных учеными, которые позволяют активизировать иммунные процессы растений. Рассмотрим каждое решение отдельно. Наночастицы серебра вызывают большой интерес ученых из-за их антимикробной активности; группа ученых, занимающихся проблемой защиты растений, предлагает активизацию в организме вышедших растений физиологических процессов за счёт взаимодействия с высокодисперсным серебром. Наночастицы серебра беспрепятственно перемещаются по всему растительному организму и провоцируют внутриклеточные реакции, что может отражаться как на развитии растения, так и на его угнетении в зависимости от дозы применения. Исследователями определены физико-химические параметры поступающих наночастиц в организм растения, а также их размер, доза и способ поступления [11].

Ещё одно предложение связано с потенциальным воздействием наночастиц серебра, которые синтезировали с использованием экстракта листьев нима (*Azadirachta indica*) против раннего фитофтороза растений томатов, вызываемого *Alternaria solani*. Результаты показали значительные различия между изолятами. Изоляты Shk-1 и Ksr-1 были высокопатогенными и вызывали до 80 % случаев заболевания. Потенциал наночастиц серебра в борьбе с каждым изолятом определялся с использованием различных концентраций наночастиц серебра. В ходе экспериментов *in vitro* и *in vivo* степень ингибирования роста патогена составляла 70-100 % при концентрации 50 частей на миллион. Более низкие концентрации наночастиц серебра (5 и 10 частей на миллион) увеличивали выработку фенолов, полифенолов и полифенольных соединений более чем на 50 % по сравнению с контрольными образцами без обработки. Эти защитные механизмы наглядно демонстрируют фунгицидный потенциал наночастиц серебра и подтверждают целесообразность их использования в различных программах защиты сельскохозяйственных культур [13].

Решение, которое представили учёные, связано с выделением комплекса стрептомицетов из ризосферы трех видов флоры лекарственных растений Вятско-Камского Предуралья (Кировская область) – *Melissa officinalis* L., *Urtica dioica* L. и *Capsella bursapastoris* L., где их численность в ризосфере представлена от $(3,0 \pm 1,6) \times 10^5$ до $(1,4 \pm 0,5) \times 10^6$ КОЕ/г субстрата в зависимости от вида растения; доля в прокариотном комплексе разных видов изменялась от 4 % (*C. bursapastoris*) до 31 % (*M. officinalis*). Данный комплекс стрептомицетов может оказывать положительное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных растений [12].

Рассмотрим ещё одно предлагаемое решение в противостоянии фитопатогенам и стимулирова-

нии роста растений: актиномицеты, обитающие в ризосфере, в основном грамположительные бактерии с высоким содержанием гуанина и цитозина в ДНК, являются потенциальными стимуляторами роста растений и агентами биоконтроля. Из-за недостаточной изученности актиномицетов в ризосфере лекарственных растений, особенно в штате Мегхалая, Индия, они были выделены из ризосферы двух лекарственных растений, *Rubus ellipticus* и *Ageratina riparia*, произрастающих в Мегхалае. Изоляты были протестированы на антимикробную активность и способность стимулировать рост растений (PGP). Учеными исследователями было выделено из ризосферы *R. ellipticus* и штаммов PGP *Streptomyces* из ризосферы *A. riparia* несколько антимикробных штаммов *Amycolatopsis*, из которых были отобраны и протестированы на способность стимулировать рост томатов пять изолятов. Все они значительно повысили всхожесть семян и благотворно повлияли на рост растений. Таким образом, ассоциированные с растениями актиномицеты из ризосферы двух лекарственных растений продемонстрировали свой потенциал в качестве биоинокулянтов, которые можно дополнительно изучить и использовать для повышения урожайности и обеспечения продовольственной безопасности [14].

Проведенный аналитический обзор литературных источников по обозначенной проблеме ещё раз подтвердил важность и научную актуальность затронутой темы исследования.

Поиск альтернативных решений данной проблемы является основным направлением нашего исследования, которое рассматривает отражение патогенной агрессии за счет укрепления иммунных факторов самого растения, т.е. за счет обеспечения растения необходимым набором питательных веществ в доступной форме, находящихся в почвенной среде.

Материалы и методы исследования

Для проведения комплексного исследования по выбранной проблеме была выдвинута цель исследования – выявить влияние почвенного состава на выживаемость растения в агрессивной среде патогенных организмов. Для осуществления поставленной цели был разработан ряд задач:

1. Составить почвенные смеси, соответствующие плодородным показателям тестируемого растения (ний).
2. Определить возбудитель, который будет участвовать в экспериментальном исследовании с последующим приготовлением суспензии в ЦКП ГКФМ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии».
3. Разработать схему двухфакторного исследования с учётом выявленной проблемы.
4. На основе эксперимента выделить основные показатели ростообразующих показателей растения (ний).

При выполнении поставленных задач были составлены почвенные смеси:

- 1 вариант – Контроль, светло-каштановая по-



ча, приближенная к основе материнской породы;

2 вариант – Органическое удобрение «Питательный грунт» (производственный продукт из переработанного сырья¹) в сочетании со светло-каштановой почвой в соотношении, рекомендованном производителем;

3 вариант – Иловые отложения в сочетании со светло-каштановой почвой в соотношении 50/50 %.

Закладка вариантов произведена в условиях закрытого грунта в четырёхкратной повторности по двум факторам исследования:

– почвенные наполнители: органическое удобрение «Питательный грунт» и иловые отложения);

– фоновое заражение возбудителем *Fusarium culmorum* (W.G.Sm.) и без внедрения фонового заражения.

В качестве фонового заражения было решено применить возбудитель, который вызывает фузариозные поражения на зерновых культурах – *Fusarium culmorum* (W.G.Sm.) с количественным составом спор в суспензии/мл:

1. *Fusarium sporotrichioides* CT-20-3 ст – $0,8 \times 10^6$
2. *Fusarium poae* 100170 – $1,3 \times 10^6$
3. *Fusarium graminearum* FG-30 – $0,01 \times 10^6$
4. *Fusarium roseum* KPT 11-1 кч – $0,01 \times 10^6$
5. *Fusarium avenaceum* Fa-1 – $1,4 \times 10^6$
6. *Fusarium oxysporum* FO-8 – $2,5 \times 10^6$
7. *Fusarium culmorum* KC-1716-2 – $0,04 \times 10^6$

С итоговым количеством спор в суспензии/мл $\sim 6 \times 10^6$.

Проведены агрохимические исследования, основные показатели представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования на фактическое содержание валовых форм NPK

| Иловые отложения ² | Светло-каштановая почва ³ |
|---|---|
| Азот – 0,55 %; Калий – 2,24 %; Фосфор – 0,25 %; | Массовая доля подвижных соединений калия – 337,0 мг/кг; Массовая доля подвижных соединений фосфора – 32,1 мг/кг; Щелочно-гидролизующий азот – 29,4 мг/кг; |

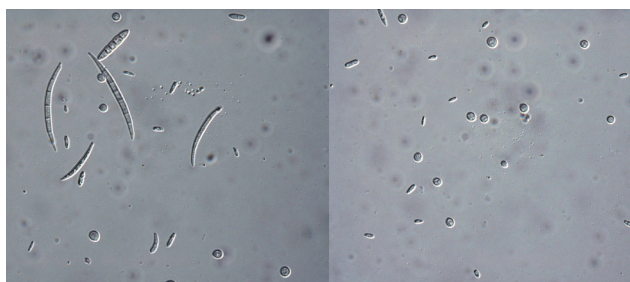


Рис. 1 – Фотофиксация применяемого штамма в суспензии

Fig. 1 – Photofixation of the applied strain in suspension

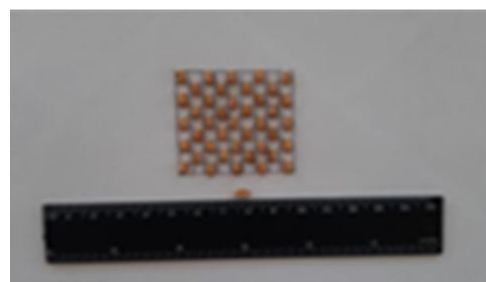


Рис. 2 – Схема высева семян яровой пшеницы сорта «Агата» (РФ)⁵

Fig. 2 – The scheme of sowing seeds of spring wheat of the variety "Agata" (Russian Federation)

Также в иловых отложениях просматривались показатели: pH сол., оказался в пределах 7,3, обнаруженное органическое вещество в пределах 6,9 % и зольность – 86,3 %. Все входящие в состав иловых отложений элементы тяжелых металлов находятся в допустимых пределах⁴.

Подготовленная суспензия с возбудителем *Fusarium* внедрялась в почвенные подготовлен-

ные смеси, следом был произведен посев не пророщенного семенного материала тестируемой культуры. Условия – инкубационного микроклимата. Испытательный срок – 7 и 14 дней. Выделены защитные разделения между вариантами. Режим полива и норма поддерживались с учетом датчиков температуры и влажности.

¹ Заменитель плодородной почвы. Помогает получить качественную рассаду, повышает урожайность, улучшает вкусовые качества выращиваемых культур. Повышает приживаемость и урожайность растений, улучшает их декоративные свойства. Повышает качество почвы: воздухопроницаемость, влагоёмкость, пористость. Содержит азот, калий и фосфаты в нужном для растений количестве. Повышает устойчивость растений к засухе и непогоде. Состав: торф низинный, торф верховой, мука известняковая, компост биотермический «Дядюшка Гумус». Калий K₂O (2-3 %), Фосфор P₂O₅ (1-2 %), pH (6,5-8 %), Азот N (2-3%), Гумус (1-2 %) [https://grunteco.ru/product/biokompost-dyadushka-gumus-grunteco/]

² Волго-Ахтубинской поймы (ерик Осинки, Среднеахтубинский р-н, Волгоградская область).

³ Светло-каштановая почва с опытного поля УНПЦ «Горная поляна» ФГБНУ ВПО «Волгоградский ГАУ».

⁴ ГОСТ Р 54000-2010

⁵ S ячейки - 20,25 см², 41 учётное семенное зерно

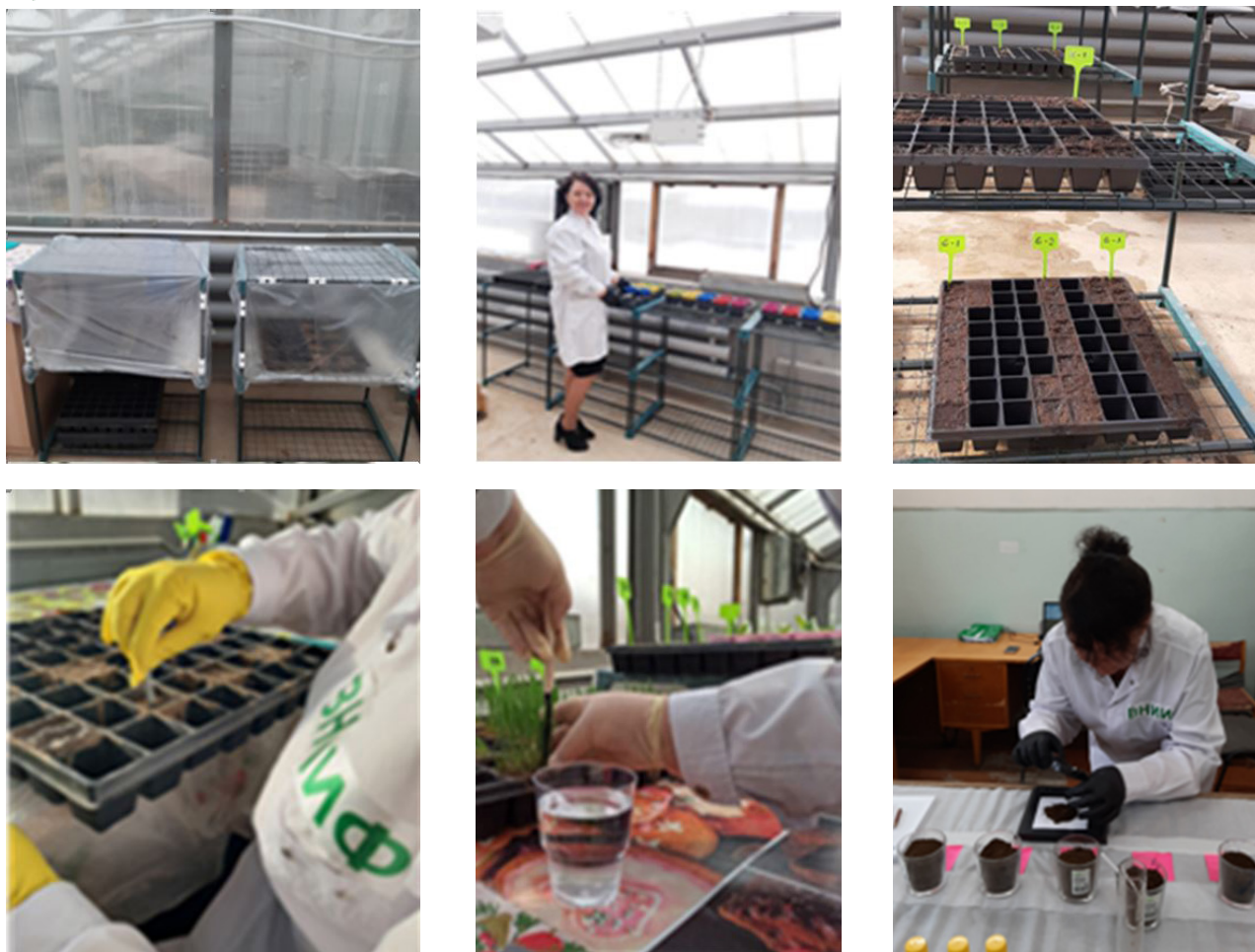


Рис. 3 – Этапы выполнения исследования, фотофиксация
Fig. 3 – Stages of the study, photofixation

В качестве нормативно-методической основы применены действующие нормативные документы⁶, План ведения исследования разработан с использованием методических рекомендаций К.И. Саранина (1982), Никитенко Г.Ф. (1982), Б.А. Доспехова (1985). Исследования по составлению почвенных смесей – с использованием методической рекомендации Роуэлл Д.Л. (1998)⁷.

Результаты исследований и их обсуждение

Итоговые результаты проведенного исследования показали, что назначенный период в 7 дней отчетливо доказал вмешательство фоновое внедрения патогенных организмов в растительные процессы растения. По своей сути, не пророщенное зерно обладает запасом питательных веществ и энергией прорастания. При этом, в

окружении агрессивного пространства включается механизм выживания растения за счёт поиска питания. Корневая система активирует свой рост и развитие, которое мы наблюдаем в результатах проведенного исследования (табл. 2)

Из таблицы 2 видно, что в семидневный период, по фактору без внедрения заражения в почвенную среду наличие питательных элементов благотворно повлияло на тестируемое растение. Так, в варианте 3 в сочетании иловых отложений со светло-каштановой почвой (50/50) было сформировано 7 корней с общей длиной в 24,32 см (+ 3,22). При этом в варианте 2 с применением органического удобрения «Питательный грунт» имеется 6 корней, как и в Контрольном варианте, с отличием на 0,1 см больше и равном 21,2 см.

⁶ ГОСТ 12038-84. «Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 19.12.1984 N 4710) (ред. от 01.03.1995. с изм. от 01.10.1999)», ГОСТ 12036-66 «Семена сельскохозяйственных культур. Отбор образцов» Издательство стандартов. – 1973. Добавлен в базу. - 01.02.2017. Завершение срока действия. – 01.07.1986. Актуализация. – 01.02.2020, ГОСТ 15.101-98 «Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ», ГОСТ 26640-85 (СТ СЭВ 4472-84) «Земли. Термины и определения», ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения»

⁷ Роуэлл Д.Л. Почвоведение: методы и использование / Пер. с англ. Е.К. Кубиковой; Под ред. и с предисл. Б.Н. Золотаревой. – М.: Колос, 1998. – 486 с.: ил.



Таблица 2 – Развитие корневой системы пшеницы по количественным показателям, см

| Вариант | Без внедрения заражения | | | | | | | С внедрением заражения | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| | Длина каждого корня, см | | | | | | | Длина каждого корня, см | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1. Контроль | 5,8 | 5,1 | 5,0 | 2,9 | 2,1 | 0,2 | - | 2,7 | 2,2 | 1,5 | 1,0 | 0,5 | - | - |
| Σ всех корней по 1 варианту | 21,1 | | | | | | | 7,9 | | | | | | |
| 2. | 6,8 | 4,8 | 4,1 | 3,1 | 2,2 | 0,2 | - | 2,5 | 2,2 | 1,7 | 1,0 | 0,1 | - | - |
| Σ всех корней по 2 варианту | 21,2 | | | | | | | 7,5 | | | | | | |
| 3. | 7,1 | 5,9 | 5,2 | 4,8 | 0,9 | 0,4 | 0,02 | 3,9 | 3,2 | 2,7 | 1,0 | 0,5 | 0,2 | - |
| Σ всех корней по 3 варианту | 24,32 | | | | | | | 11,5 | | | | | | |

По фактору с внедрением заражения в почвенную среду показатели по корневой системе ухудшаются. Так, Контрольный вариант показывает наличие 5 корней с общей суммарной длиной 7,9 см. Во 2 варианте показатели также имеют 5 корней с общей суммарной длиной 7,5 см. Лидер – вариант 3 с 6 корнями и с общей суммарной длиной в 11,5 см.

По данным показателям можно сделать вывод, что в зависимости от состояния почвенной среды растение развивает свои продуктивные показатели. Рассмотрим два варианта: во 2 варианте, в почвенной смеси присутствуют органические соединения, которые помогают растению в первом факторе развивать корневую систему, но при внедрённом заражении показатели уменьшаются в 2,83 раза; при этом 3-й вариант имеет расхождение по факторам в 2,11 раза. Считаем, что у растений, находящихся в 3-м варианте по состоянию в заражённом фоне шансов больше на выживание, так как питательные элементы способствуют развитию корневой системы, несмотря на патогенную нагрузку.

Отражение развития корневой системы наблюдаем в параметре выживаемости растения в определённый семидневный период (рис. 4).

На представленной диаграмме отчетливо просматриваются различия по исследуемым факторам: так, без внедрения заражения все варианты имеют хорошие показатели по выживаемости.

Лидирует вариант 3 – 95,7 %. Контроль – 90,9 % и вариант 2 – 91,5 %.

При внедрении заражения растения испытывают стресс, что ярко отражено в представленных показателях: Контроль – 38,4 % выживаемости, 2-й вариант показал самый низкий показатель – 32,3% выживаемости, при этом лидерство сохраняется за вариантом 3 – 79,3 % выживаемости (рис. 5).

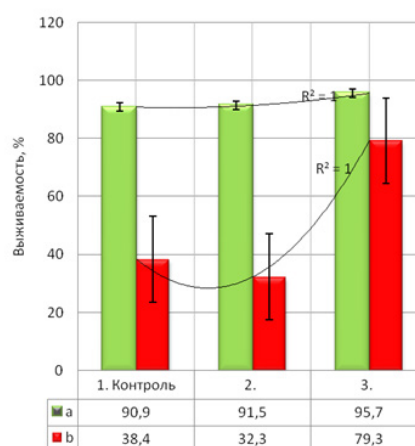
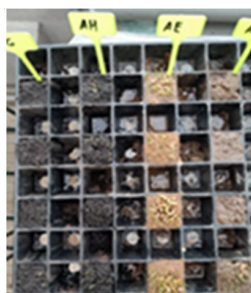


Рис. 4 – Диаграмма параметров выживаемости растения (яровая пшеница «Агата»), %

Fig. 4 – Diagram of plant survival parameters (spring wheat "Agata"), %



Фактор без внедрения заражения

Рис. 5 – Фотофиксация лабораторного исследования по выявлению влияния почвенного состава на выживаемость растения в агрессивной среде патогенных организмов.

Продолжение рисунка 5



Рис. 5 – Фотофиксация лабораторного исследования по выявлению влияния почвенного состава на выживаемость растения в агрессивной среде патогенных организмов.

Fig. 5 – Photofixation of a laboratory study to identify the effect of soil composition on plant survival in an aggressive environment of pathogenic organisms.

Для утверждения полученных показателей было принято решение протестировать ещё одно растение – Мятлик луговой в тех же условиях исследования. Полученные результаты в расширенных показателях представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исследованные параметры

| Вариант | Без внедрения заражения | | | С внедрением заражения | | |
|------------------------------|-------------------------|----------|--------------------------------|------------------------|----------|--------------------------------|
| | Длина | | Прирост (сухая масса, г) | Длина | | Прирост (сухая масса, г) |
| | Корень, см | Лист, см | | Корень, см | Лист, см | |
| 1. Контроль | 0,35 | 0,50 | 0,085 | 0,28 | 0,7 | 0,01 |
| 2. | 0,55 | 1,6 | 0,089 | 0,5 | 0,8 | 0,025 |
| Отклонения от Контроля, ± | +0,2 | +1,1 | +0,004 | +0,22 | +0,1 | +0,015 |
| 3. | 1,15 | 1,23 | 0,088 | 0,6 | 1,8 | 0,067 |
| Отклонения от Контроля, ± | +0,8 | +0,73 | +0,003 | +0,32 | +1,1 | +0,057 |

Из таблицы видно, что варианты по тестируемой культуре также повторяют результативность вариантов по факторам. При фоновом факторе варианты 2 и 3 показывают положительные результаты от Контрольного варианта, различия наблюдаются при разных факторах. Выявленный лидер – вариант 3, с устойчивыми показателями развития в отличие от Контроля: по длине корней – +0,8 см (без внедрения заражения) и +0,32 см (с внедрением заражения); по длине

листа – +1,1 см (с внедрением заражения); по приросту сухого вещества – +0,057 г (с внедрением заражения). В варианте 2 лучшие показатели по двум параметрам – +1,1 см длина листа (без внедрения заражения) и прирост сухого вещества +0,004 г (без внедрения заражения) в отличие от Контроля.

И основной аргумент в исследовании – рассмотрение параметров выживаемости растения (рис.6).

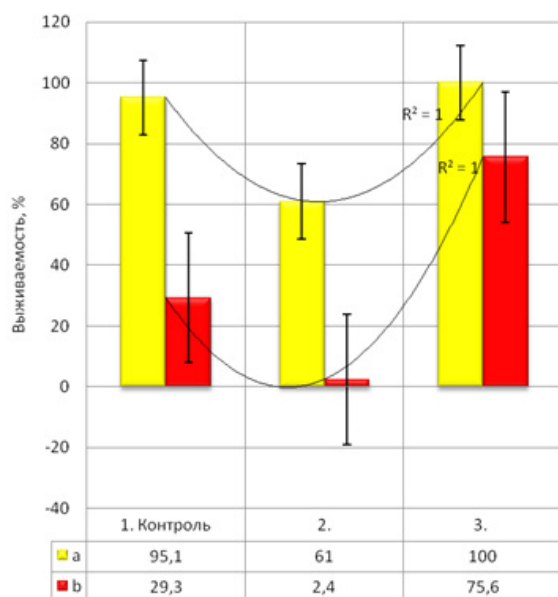


Рис. 6 – Диаграмма параметров выживаемости растения (Мятлик луговой), %
Fig. 6 – Diagram of plant survival parameters (Meadow bluegrass), %

По сравнению с предыдущей диаграммой данные показатели отличаются своей неординарностью. Так, при факторе без внедрения заражения лидируют два варианта: вариант 3 – 100 % выживаемость растений и Контроль с 95,1 % выживаемостью. Вариант 2 показывает наименьший показатель выживаемости – 61 %. Вероятно, для растения Мятлик луговой структурированность почвенной смеси играет основную роль в развитии жизненных показателей, так как из рассматриваемых почвенных смесей в представленных вариантах именно в варианте 2 наблюдается бесструктурность почвенной смеси из-за внесения органического удобрения в рекомендуемых дозах.

При внедрении заражения показатели в варианте 2 показывают наименьший результат – 2,4 % выживаемости, тогда как вариант 3 показывает наибольший показатель в 31,5 раза – 75,6 % выживаемости растений. Контрольный вариант дает показатель 29,3 % выживаемости растения.

Закключение

В итоге можно сделать вывод, что почвенная среда является основным фактором развития растения. Искусственное внедрение заражения патогенными организмами в почвенную смесь доказало, что наличие минеральных элементов в доступной форме, а также структурированность почвы способны оказать помощь растению в противостоянии агрессивной среде.

Наличие органических веществ в почве способствует интенсивному развитию внедрённых патогенных организмов, а скорость развития зависит напрямую от количества органических веществ, находящихся в данный момент в почвенной среде.

В связи с этим можно сделать вывод, что борьба с патогенными организмами должна начинать-

ся с оздоровления почвенной среды, до ввода семенного материала, где главным направлением должен быть комплексный набор минеральных элементов. Органическое вещество стоит вносить в те почвы, которые бедны изначально данными элементами и только в рекомендованных дозах.

Проведенные исследования показали важность полученных результатов, которые подняли ряд новых вопросов, для решения которых необходимо проводить последующие исследования.

Список источников

1. Байбусенов, К.С. Эффективность протравителей семян яровой пшеницы / К. С. Байбусенов, М. А. Ажмахан, А. А. Джумагулов, Т. К. Макишев // Дневник науки. – 2023. – № 10(82). – DOI 10.51691/2541-8327_2023_10_11. – EDN CQPRMM.
2. Гасиян, К. Э. Спороулавливающие устройства для мониторинга грибных болезней сельскохозяйственных культур (обзор) / К. Э. Гасиян, О. Ю. Кремнева // Земледелие. – 2025. – № 2. – С. 42-48. – DOI 10.24412/0044-3913-2025-2-42-48. – EDN TUVVXJ.
3. Данилов, Р. Ю. Изучение спектральных характеристик растений озимого ячменя, инфицированных возбудителями экономически значимых болезней / Р. Ю. Данилов, О. Ю. Кремнева, А. А. Пачкин // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 93. – С. 111-121. – DOI 10.21515/1999-1703-93-111-121. – EDN KNWSMS.
4. Замятин, С. А. Мониторинг распространения и развития корневых гнилей в севооборотах / С. А. Замятин, Р. Б. Максимова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2025. – № 5. – С. 58-61. – DOI 10.7868/S3034519725050103. – EDN PLDIKK. EAW.
5. Карашаева, А. С. Использование геоинформационных технологий при оценке состояния агроландшафтов в Кабардино-Балкарской Республике / А. С. Карашаева, М. И. Езиев // International Agricultural Journal. – 2020. – Т. 63, № 5. – С. 15. – DOI 10.24411/2588-0209-2020-10221. – EDN UBLZEX.
6. Кремнева, О.Ю. Создание базы данных изображений спор болезней пшеницы для системы автоматического подсчета заспоренности посевов культуры на основе методов глубокого обучения / О. Ю. Кремнева, К. Э. Гасиян, Р. Ю. Данилов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38, № 6. – С. 52-56. – DOI 10.53859/02352451_2024_38_6_52. – EDN EBEIPH.
7. Крупенько, Н. Болезни в посевах озимой пшеницы в 2010-2024 годах / Н. Крупенько // Наше сельское хозяйство. – 2025. – № 9(353). – С. 30-40. – EDN NSDVBH.
8. Манукян, И.Р. Оценка комплексной устойчивости различных сортов озимой пшеницы к болезням / И. Р. Манукян // Нива Поволжья. – 2025. – № 1(73). – DOI 10.36461/NP.2025.73.1.006. – EDN KHUOTX.



9. Новикова, И.И. Биологическая эффективность полифункциональных комплексов на основе штаммов *Bacillus subtilis* и салицилата хитозана при возделывании пшеницы / И. И. Новикова, Л. Е. Колесников, Э. В. Попова [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2024. – Т. 60, № 2. – С. 205-218. – DOI 10.31857/S0555109924020109. – EDN FZRAGF

10. Савенкова, Е. В. Влияние агротехнических факторов на поражаемость яровой пшеницы корневыми гнилями / Е. В. Савенкова, Н. Юшин, В. О. Волков // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2025. – № 2(58). – С. 41-53. – EDN EKMNPY.

11. Хина, А & Лисичкин, Г & Крутяков, Ю. (2024). Влияние наночастиц серебра на физиологию высших растений. *Fiziologiya rastenij*. 71. 666-696. 10.31857/S0015330324060021.

12. Широких, И & Мокрушина, С. (2024). Стрептомицеты из ризосферы трех лекарственных растений в качестве стимуляторов роста расте-

ний и агентов биоконтроля. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seria 16. Biologia*. 79. 10.55959/MSU0137-0952-16-79-2-4..

13. Ansari, Madeeha & Ahmed, Shakil & Khan, Muhammad & Hamad, Najwa & Ali, Hayssam & Abbasi, Asim & Mubeen, Iqra & Intisar, Anum & Hasan, Mohamed & Jasim, Ihsan. (2023). Evaluation of In Vitro and In Vivo Antifungal Activity of Green Synthesized Silver Nanoparticles against Early Blight in Tomato. *Horticulturae*. 9. 369. 10.3390/horticulturae9030369

14. Syiemiong, Debulman & Jha, Dhruva & Adhikari, Samrat & Myllemngap, Dapkupar & Lyngdoh, Dominic & Paul, Joel & Paul, Neha & Lamare, Kevin & Wahlang, Chalcedony & Lyngkhai, Rangehok. (2022). Rhizospheres of *Rubus ellipticus* and *Ageratina riparia* from Meghalaya exhibit Actinomycetota that promote plant growth. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. 11. 10.7324/JABB.2023.110210

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Bajbusenov, K.S. *Ehffektivnost' protravitelej semyan yarovoj pshenicy* / K. S. Bajbusenov, M. A. Azhmakhan, A. A. Dzhumagulov, T. K. Makishev // *Dnevnik nauki*. – 2023. – № 10(82). – DOI 10.51691/2541-8327_2023_10_11. – EDN CQPRMM.

2. Gasiyan, K. EH. *Sporoulavlivayushchie ustrojstva dlya monitoringa gribnykh boleznej sel'skokhozyajstvennykh kul'tur (obzor)* / K. EH. Gasiyan, O. YU. Kremneva // *Zemledelie*. – 2025. – № 2. – С. 42-48. – DOI 10.24412/0044-3913-2025-2-42-48. – EDN TUVVXJ.

3. Danilov, R. YU. *Izuchenie spektral'nykh kharakteristik rastenij ozimogo yachmenya, inficirovannykh vozbuditel'nykh ehkonomicheskimi znachimykh boleznej* / R. YU. Danilov, O. YU. Kremneva, A. A. Pachkin // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2021. – № 93. – С. 111-121. – DOI 10.21515/1999-1703-93-111-121. – EDN KNWSMS.

4. Zamyatin, S. A. *Monitoring rasprostraneniya i razvitiya kornevykh gnilej v sevooborotakh* / S. A. Zamyatin, R. B. Maksimova // *Vestnik Rossijskoj sel'skokhozyajstvennoj nauki*. – 2025. – № 5. – С. 58-61. – DOI 10.7868/S3034519725050103. – EDN PLDIKK. EAW.

5. Karashaeva, A. S. *Ispolzovanie geoinformacionnykh tekhnologij pri ocenke sostoyaniya agrolandshaftov v Kabardino-Balkarskoj Respublike* / A. S. Karashaeva, M. I. Eziev // *International Agricultural Journal*. – 2020. – Т. 63, № 5. – С. 15. – DOI 10.24411/2588-0209-2020-10221. – EDN UBLZEX.

6. Kremneva, O.YU. *Sozdanie bazy dannykh izobrazhenij spor boleznej pshenicy dlya sistemy avtomaticheskogo podscheta zasporennosti posevov kul'tury na osnove metodov glubokogo obucheniya* / O. YU. Kremneva, K. EH. Gasiyan, R. YU. Danilov [i dr.] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. – 2024. – Т. 38, № 6. – С. 52-56. – DOI 10.53859/02352451_2024_38_6_52. – EDN EBEIPH.

7. Krupen'ko, N. *Bolezni v posevakh ozimoi pshenicy v 2010-2024 godakh* / N. Krupen'ko // *Nashe sel'skoe khozyajstvo*. – 2025. – № 9(353). – С. 30-40. – EDN NSDVBH.

8. Manukyan, I.R. *Ocenka kompleksnoj ustojchivosti razlichnykh sortov ozimoi pshenicy k boleznyam* / I. R. Manukyan // *Niva Povolzh'ya*. – 2025. – № 1(73). – DOI 10.36461/NP.2025.73.1.006. – EDN KHUOTX.

9. Novikova, I.I. *Biologicheskaya ehffektivnost' polifunkcional'nykh kompleksov na osnove shtammov Bacillus subtilis i salicilata khitozana pri vozdeleyvanii pshenicy* / I. I. Novikova, L. E. Kolesnikov, EH. V. Popova [i dr.] // *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. – 2024. – Т. 60, № 2. – С. 205-218. – DOI 10.31857/S0555109924020109. – EDN FZRAGF

10. Savenkova, E. V. *Vliyanie agrotekhnicheskikh faktorov na porazhaemost' yarovoj pshenicy kornevymi gnilyami* / E. V. Savenkova, N. Yushin, V. O. Volkov // *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2025. – № 2(58). – С. 41-53. – EDN EKMNPY.

11. Khina, A & Lisichkin, G & Krutyakov, YU. (2024). Vliyanie nanochastic serebra na fiziologiyu vysshikh rastenij. *Fiziologiya rastenij*. 71. 666-696. 10.31857/S0015330324060021.

12. Shirokikh, I & Mokrushina, S. (2024). Streptomicety iz rizosfery trekh lekarstvennykh rastenij v kachestve stimulyatorov rosta rastenij i agentov biokontrolya. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seria 16. Biologia*. 79. 10.55959/MSU0137-0952-16-79-2-4..



13. Ansari, Madeeha & Ahmed, Shakil & Khan, Muhammad & Hamad, Najwa & Ali, Hayssam & Abbasi, Asim & Mubeen, Iqra & Intisar, Anum & Hasan, Mohamed & Jasim, Ihsan. (2023). Evaluation of In Vitro and In Vivo Antifungal Activity of Green Synthesized Silver Nanoparticles against Early Blight in Tomato. *Horticulturae*. 9. 369. 10.3390/horticulturae9030369

14. Syiemiong, Debulman & Jha, Dhruva & Adhikari, Samrat & Myllemngap, Dapkupar & Lyngdoh, Dominic & Paul, Joel & Paul, Neha & Lamare, Kevin & Wahlang, Chalcedony & Lyngkholi, Rangehbok. (2022). Rhizospheres of *Rubus ellipticus* and *Ageratina riparia* from Meghalaya exhibit Actinomycetota that promote plant growth. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. 11. 10.7324/JABB.2023.110210

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Косыгина (Свиридова) Лариса Леонтьевна, д-р с.-х. наук, вед. научный сотрудник лаборатории агробиотехнологий для охраны здоровья почв ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», р. п. Большие Вяземы, Российская Федерация, Larina67@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4214-194X>

Жемчужина Наталья Сергеевна, канд. биол. наук, ст. научный сотрудник, зам. зав. государственной коллекцией фитопатогенных микроорганизмов и сортов растений-идентификаторов патогенных штаммов микроорганизмов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», р. п. Большие Вяземы, Российская Федерация, vniif@vniif.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6374-403X>

Author information

Kosygina (Sviridova) Larisa L., Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Agrobiotechnology for Soil Health Protection Federal State Budgetary Scientific Establishment the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology (VNIIF), Bolshye Vyazemye settlement, Russian Federation, Larina67@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4214-194X>

Zhemchuzhina Natalia S., Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Deputy Head of the State Collection of phytopathogenic microorganisms and plant varieties-identifiers of pathogenic strains of microorganisms Federal State Budgetary Scientific Establishment the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology (VNIIF), ul. Institute, possession 5, Bolshye Vyazemye settlement, Russian Federation, 143050, e-mail: vniif@vniif.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6374-403X>

Статья поступила в редакцию 09.10.2025; одобрена после рецензирования 12.11.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 09.10.2025; approved after reviewing 12.11.2025; accepted for publication 15.12.2025





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 637.12.04.07:636.224.3:636.087.7
DOI: 10.36508/RSATU.2025.21.62.008

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДоеВ И СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В МОЛОКЕ КОРОВ ДЖЕРСЕЙСКОЙ ПОРОДЫ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Оксана Геннадиевна Кучер¹✉, Елена Ивановна Машкова², Ольга Алексеевна Захарова³

^{1,2,3} Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

¹ oksik004@gmail.com

² elena_mashkova@mail.ru

³ ol-zahar-ru@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Для перерабатывающих предприятий молоко джерсейских коров из-за высокой жирномолочности является предпочтительным по сравнению с продукцией коров других пород, однако эталоном является соотношение жир:молоко как 1,2:1. Достичь этого можно коррекцией рационов, в частности, введением премиксов с высоким содержанием белка. Цель моделирования дать прогноз продуктивности и содержания белка в молоке коров джерсейской породы при введении премиксов в рационы.

Методология. Исследования проведены в АО «Ульянино» Раменского района Московской области при создании 4 групп методом пар-аналогов коров джерсейской породы, схожих по возрасту, продуктивности, живой массе и другим показателям. Первая контрольная группа получала единый базовый рацион хозяйства. Во второй контрольной группе применялся сбалансированный рацион для различных фаз продуктивности с применяемым в хозяйстве витаминным премиксом П60-3. Первая опытная группа получала те же сбалансированные рационы, но вместо П60-3 в сухостойный период вводился специализированный премикс фирмы INNUTRA Dry для сухостойного периода, а в лактационный период – премикс БВМК, что позволило оценить синергетический эффект применения высокотехнологичных добавок одного производителя. Во второй опытной группе применялись сбалансированные рационы только в лактацию с введением премикса БВМК, что дало возможность изолировать вклад премикса в дойный период в последующие показатели молочной продуктивности. Методика исследований общепринятая. Математическое моделирование проведено по Ю.В. Василькову и Н.Н. Васильковой методом прямого поиска с возвратом.

Результаты. Проведенные расчеты показали достаточно высокую переваримость питательных веществ корма (в среднем) в опытной группе 1 по сравнению с другими животными: сухое вещество – на 6-10 %, органическое вещество – 7-19 %, протеин – 1-24 %, жир – на 2-100 %, клетчатка – на 8-29 % и БЭВ – на 3-11 %. На основании балансового опыта и химического состава кормосмеси, остатков корма, кала, мочи и молока был рассчитан баланс азота, который в этой группе составил +43,62 г при $\alpha=0,05$. Максимальный удой установлен во вторую лактацию у коров всех групп, причем продуктивность за 305 дней и всю лактацию были выше у коров опытной группы 1. Статистическая обработка результатов исследований подтвердила эффективность введения премиксов фирмы INNUTRO для повышения содержания образования белка. Такой показатель, как оборот стада определяет возможность отрасли по производству и реализации продукции, росту поголовья, потребности в кормах и др. Теоретически за расчетный период поголовье стада вырастет на 13,5 %. Валовой надой увеличится до 33440 кг, от одной коровы в среднем в год 79 ц. Содержание белка в молоке повысится до 4,80 %.

Заключение Применение методов математического моделирования позволило спрогнозировать продуктивность стада в АО «Ульянино» на восьмилетний период с учетом использования сбалансированных рационов с введением премиксов Dry в сухостойный период и БВМК в дойный период. Численность животных на конец расчетного периода увеличилась по сравнению с фактическим показателем на 13,5 % за счет самовоспроизводства. Это стало одной из причин повышения валового надоя молока на 56,7 %. Содержание белка в молоке увеличилось с 3,75 % до 4,80 %.



Ключевые слова: коровы, джерсейская порода, рационы, премиксы, качество молока, белок, жир, продуктивность

Для цитирования: Кучер О.Г., Машкова Е.И., Захарова О.А. Прогнозирование надоев и содержания белка в молоке коров джерсейской породы методом математического моделирования // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.58-68 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.21.62.008](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.21.62.008)

Original article

FORECASTING MILK YIELD AND PROTEIN CONTENT IN THE MILK OF JERSEY COWS USING MATHEMATICAL MODELING

Oksana G. Kucher¹✉, Elena I. Mashkova², Olga A. Zakharova³

^{1,2,3} Ryazan State Agrotechnological University Named After P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

¹ oksik004@gmail.com

² elena_mashkova@mail.ru

³ ol-zahar-ru@yandex.ru

Abstract

Problem and Objective. For processing enterprises, milk from Jersey cows is preferable compared to milk from cows of other breeds due to its high fat content; however, the ideal fat-to-protein ratio is considered to be 1.2:1. This can be achieved by adjusting the rations, particularly through the introduction of premixes with high protein content. The objective of the modeling is to forecast the productivity and protein content in the milk of Jersey cows when premixes are introduced into their rations.

Methodology. The research was conducted at JSC "Ulyanino" in the Ramensky District of the Moscow Region. Four groups of Jersey cows were formed using the pair-matched analogues method, similar in age, productivity, live weight, and other parameters. The first control group received a unified basic farm ration. The second control group received a balanced ration for different productivity phases, supplemented with the vitamin premix P60-3 used on the farm. The first experimental group received the same balanced rations, but instead of P60-3, the specialized premix INNUTRA Dry for the dry period was introduced during the dry period, and the protein-vitamin-mineral concentrate (PVMC) premix was introduced during the lactation period. This allowed for assessing the synergistic effect of using high-tech additives from a single manufacturer. The second experimental group received balanced rations only during lactation with the introduction of the PVMC premix, making it possible to isolate the contribution of the premix during the milking period to subsequent milk productivity indicators. The research methodology was conventional. Mathematical modeling was performed according to Yu. V. Vasilkov and N. N. Vasilkova using the direct search with backtracking method.

Results. The calculations showed a sufficiently high digestibility of feed nutrients (on average) in experimental group 1 compared to the other animals: dry matter – by 6-10%, organic matter – 7-19%, protein – 1-24%, fat – 2-100%, fiber – 8-29%, and nitrogen-free extractives (NFE) – 3-11%. Based on the balance experiment and the chemical composition of the feed mixture, feed residues, feces, urine, and milk, the nitrogen balance was calculated, which in this group amounted to +43.62 g at $\alpha=0.05$. Maximum milk yield was established in the second lactation for cows in all groups, with productivity over 305 days and the entire lactation being higher in cows of experimental group 1. Statistical processing of the research results confirmed that feed enrichment through the introduction of premixes improves the conditions for protein synthesis while maintaining and increasing the level of milk productivity. It is known that the herd turnover rate determines the industry's capacity for production and sales, herd growth, feed requirements, etc. Theoretically, over the calculated period, the herd population will increase by 13.5%. The total milk yield will increase to 33,440 kg, averaging 79 centners per cow per year. The protein content in milk will rise to 4.80%.

Conclusion. The application of mathematical modeling methods allowed forecasting the herd productivity at JSC "Ulyanino" for an eight-year period, considering the use of balanced rations with the introduction of the Dry premix during the dry period and PVMC during the milking period. The number of cows by the end of the planning period increased by 13.5% compared to the actual figure due to natural reproduction. The total milk yield, considering the increase in herd size and productivity, increased by 56.7%. The protein content in milk increased from 3.75% to 4.80%.

Key words: cows, Jersey breed, rations, premixes, milk quality, protein, fat, productivity

For citation: Kucher O. G., Mashkova E. I., Zakharova O. A. Forecasting milk yield and protein content in the milk of jersey cows using mathematical modeling // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No. 4, C.58-68 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.21.62.008](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.21.62.008)

Введение

Повышение продуктивности и улучшение качества молока есть главные задачи животноводства, решение которых важно для перерабатывающих предприятий и потребителей [7]. В частности, желательно получать от производителей молоко джерсейских коров как сырье не только с высоким содержанием жира, но и белка. Высокая концентрация белка в молоке возможна только при изменении условий кормления. Высокобелковость говорит о сбалансированном питании животных, обеспечении коров азотом, протеином и энергией, о наличии благоприятных условий для производства аминокислот микроорганизмами в рубце. От содержания белка в молоке зависят и экономические показатели [3, 4].

Известно, что содержание белка в молоке зависит на 40 % от питания [8, 9]. Помимо смены ранее применяемого в АО «Ульянино» Раменского района Московской области общехозяйственного рациона, который отличался недостатком некоторых питательных веществ, и введением рационов с учетом физиологического состояния животных, возраста, породы и других особенностей, нами вводились премиксы отечественного производства.



Рис.1 – На животноводческой ферме
Fig. 1 – At the livestock farm

Премиксы БВМК содержит 720 г/кг сырого протеина, Dry – 500 г/кг. База данных формировалась по сведениям, отображенным в компьютерной программе «СЕЛЭКС» [5]. Основными методами исследований являлись наблюдение, описание, анализ, сравнение, обобщение [2,9]. Эксперимент проведен по методике Овсянникова с разбивкой коров на группы пар-аналогов, отобранные по уровню молочной продуктивности (± 10 %), живой массе (± 20 кг), возрасту ($\pm 0,5$ мес.), номеру лактации (2-3) и фазе лактации (ранняя, 30-60 дней), по 10 голов в каждой.

В первую контрольную группу вошли животные, находившиеся на стандартном рационе хозяйства. Вторая контрольная группа получала оптимизированное питание (сбалансированный рацион с П60-3), разработанное в соответствии с методическими указаниями ВИЖ.

На рынке сейчас достаточно разнообразный спектр добавок для улучшения определенного показателя качества, но нами на основе проведенного обзора научной литературы и патентной информации были выбраны премиксы фирмы INNUTRA, что основано на помощи ее сотрудников при отслеживании влияния премиксов на продуктивность и повышение содержания белка в молоке. Анализ результатов контрольных доек позволяет оценить качество кормов и эффективность рациона питания, а также принять меры в соответствии с поставленной целью.

Цель исследований – спрогнозировать надой и содержания белка в молоке коров джерсейской породы методом математического моделирования.

Материалы и методы исследования

Исследования ведутся в АО Племзавод «Ульянино» Раменского района Московской области (рис.1). Объект исследования – дойные коровы джерсейской породы, молоко, премиксы, кормовая масса. Предмет исследования – продуктивность и белкомолочность при введении в рационы кормления премиксов Dry для сухостойных и БВМК для дойных коров (рис. 2).



Рис.2 – Используемые в опыте премиксы фирмы INNUTRA Dry для сухостойных и БВМК для дойных коров

Fig. 2 – Premixes used in the experiment: INNUTRA Dry for dry cows and PVMC (Protein-Vitamin-Mineral Concentrate) for lactating cows

Первая опытная группа получала сбалансированный рацион с включением премикса Dry в сухостойный период с последующим переходом на БВМК в лактацию.

Во вторую опытную группу были включены лактирующие коровы, получавшие сбалансированный рацион в комбинации с премиксом БВМК.

Первая контрольная группа получала единый базовый рацион хозяйства. Во второй контрольной группе применялся скорректированный рацион для различных фаз продуктивности без замены используемого в основном рационе премикса П60-3. Первая опытная группа получала те же сбалансированные рационы, но вместо П60-3 в сухостойный период вводился специализированный премикс фирмы INNUTRA Dry, а в лактационный период – премикс БВМК, что позволило оценить синергетический эффект применения вы-



сокотехнологичных добавок одного производителя. Во второй опытной группе применялся адаптированный рацион только в лактацию с введением премикса БВМК, а в сухостойной коровы продолжали получать базовый премикс П60-3, что дало возможность изолировать вклад премикса в дойный период в последующие показатели молочной продуктивности. На привыкание коров к кормосмеси с премиксами отводилось 10 суток, что акцентируют Э.Х. Латыпова, Х.Х. Тагиров, Н.Г. Кутлин, Ф.А. Гафаров [6], А.В. Лебедеко, В.П. Клименко [7] и др.

Для сухостойных коров рацион включал в себя: силоса кукурузного 14 кг, сена тимopheеchnого 4,2 кг, соломы вико-овсяной 2,8 кг; 7,8 кг разнотравного сенажа, 5,6 кг сахарной свеклы, 2 кг ячменя, 1,6 кг жмыха рапсового; 0,06 кг трикальций фосфата; 0,1 кг витаминно-минерального премикса П60-3 и 78 г поваренной соли. И так, характер кормления следующий: 40 % из грубых кормов, 22 % – сочных кормов и 27 % концентрированных кормов. В лактационный период рационы составлялись с учетом фаз раздоя, разгара и затухания (спада) [6, 7].

В период раздоя давался рацион, содержащий: 15 кг кукурузного силоса; 4,2 кг тимopheеchnого сена; 5,76 кг вареного картофеля, 8 кг разнотравного сенажа; 4,1 кг сахарной свеклы; 2,6 кг ячменя; 2,7 кг рапсового жмыха; 1,4 кг кормовой патоки; 0,15 кг трикальций фосфата; 0,15 кг витаминно-минеральный премикс и 102 г поваренной соли. Структуру рациона составляли грубые корма – 28 %, сочные корма – 33 %, концентрированные корма – 39 %.

В период разгара лактации рацион был следующий: силос кукурузный 13,6 кг, сено тимopheеchnое 4,3 кг, картофель вареный 5,5 кг, сенаж разнотравный 9 кг, свекла сахарная 6,6 кг, ячмень 2,3 кг, жмых рапсовый 2,3 кг, патока кормовая 0,8 кг, трикальций фосфат 0,1 кг, витаминно-минеральный премикс и 91 г поваренной соли. Структура рациона: грубые корма – 31 %, сочные корма – 36 %, концентрированные корма – 33 %.

В период спада лактации рацион был следующий: 12 кг кукурузного силоса, 4 кг тимopheеchnого сена, 5 кг вареного картофеля; 6,6 кг разнотравного сенажа, 6 кг сахарной свеклы; 1,9 кг ячменя, 2 кг рапсового жмыха; 2,4 кг вико-овсяной соломы; 0,55 кг кормовой патоки; 0,07 кг трикальций фосфата, витаминно-минеральный премикс, 84 г поваренной соли. Структура рациона: грубые корма – 35 %, сочные корма – 35 %, концентрированные корма – 30 %.

Даны рекомендации производителя по обогащению рационов премиксами в сухостойный и дойный периоды [7, 8], однако нами был проведен корреляционный анализ по уточнению дозы вводимых добавок (рис. 3).

На графике показана теоретически построенная поверхность отклика между дозами вносимых премиксов и сроками их введения в рационы. Начальный и заключительный периоды, показанные на рис. 3 красным цветом, совпали с дозами 130 г/гол/сут. премикса Dry для сухостойных коров

и 150 г/гол/сут. премикса БВМК для дойных коров.

Методика исследований общепринятая. Коэффициенты усвояемости нутриентов кормовых смесей, включая протеиновый компонент, устанавливались путем проведения балансовых экспериментов в соответствии с утвержденными протоколами Всероссийского института животноводства и ВНИИ физиологии, биохимии и питания сельскохозяйственных животных [2, 4, 5].

Анализ базы данных «СЕЛЭКС» и собственных результатов исследований дали возможность установить качественные характеристики молока, что требовалось по Решению Совета Евразийской экономической комиссии от 09.10.2013 N 67 "О техническом регламенте Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции" (вместе с "ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза. О качестве молока (массовой доли белка) для производства молочных продуктов судили по требованиям ГОСТ 25179-90.

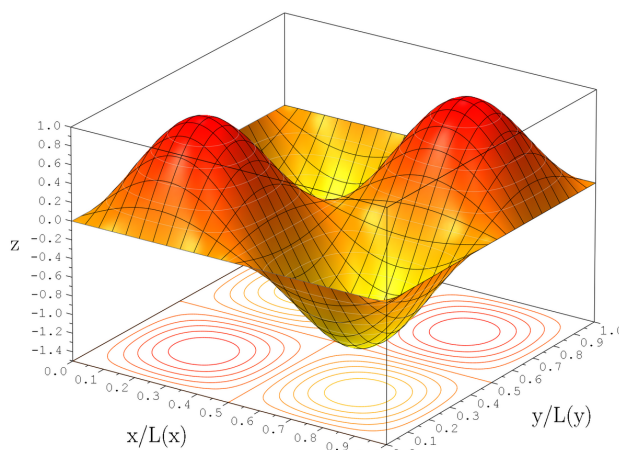


Рис. 3 – Поверхность отклика между дозами вносимых премиксов и сроками введения их в рационы ($x/L(x)$ – период сухостойный и $y/L(y)$ – период дойный)

Fig. 3 – Response surface showing the relationship between the doses of introduced premixes and the timing of their introduction into the rations ($x/L(x)$ – dry period and $y/L(y)$ – milking period).

Математическое моделирование проведено по Ю.В. Василькову и Н.Н. Васильковой методом прямого поиска с возвратом при соблюдении ограничений [1]:

$$f(x)=0 \text{ на } |f(x)| \leq \varepsilon, \quad (1)$$

где ε – допустимое нарушение ограничения.

АО Племзавод «Ульянино» относится к категории среднего предпринимательства. Производственная база включает 2 животноводческих комплекса с содержанием 1500 голов коров. 34 % стада составляют коровы джерсейской породы, которые содержатся в стойлах привязно (рис. 1) и имеют летний выгул на выгульных площадках. Средняя продуктивность коров джерсейской породы в хозяйстве 5886 кг за 305 дней [8, 10].

Площадь хозяйства 1403 км² при протяжен-



ности с севера на юг 50 км и с запада на восток 30 км. Почвы дерново-подзолистые, дерновые, серые лесные, болотные и аллювиальные, приспособленные для возделывания основных видов кормовых культур. Обеспеченность кормами собственного производства почти 100 %. Осеменение искусственное сексированным семенем. Получено телят на 100 коров 80,7 голов в среднем. Дойка трехразовая, система доения – молокопровод. Молоко проходит фильтрацию, грубую очистку, тонкую очистку через два фильтра, охлаждение до 4° С. Доставка молока на предприятия-партнеры собственными молоковозами. Максимальный удой в первую лактацию с последующим нарастанием удоя до третьей лактации, с четвертой – снижение удоя [6, 12].

По данным В.А. Перепелкиной [8], целесообразно вести племенную работу с первотелками в направлении увеличения удоя, белково- и жирномолочности и сокращения сервис-периода.

Таким образом, в АО Племзавод «Ульянино» есть все возможности для достижения поставленной нами цели – повышения продуктивности и содержания в молоке коров джерсейской породы белка для производства качественной продукции [11].

Результаты исследований и их обсуждение

Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 09.10.2013 N 67 "О техническом регламенте Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции" (вместе с "ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности молока и молочной продукции") и ГОСТ 31450-2013 «Молоко питьевое. Технические условия» содержит информацию по качеству молока-сырья, предназначенную для производителей и переработчиков. Основными единицами являются обменная энергия и кормовые единицы. Обменная энергия корма затрачи-

вается на метаболизм, терморегуляцию тела, мускульную работу, образование продукции.

В хозяйстве есть все необходимые ресурсы для повышения содержания белка в молоке коров джерсейской породы, в первую очередь это собственная кормовая база с высокобелковыми культурами. Но надо отметить недостаточный акцент специалистов-зоотехников на сбалансированности и соответствии рационов физиологическому состоянию животных, что характерно и для других хозяйств страны, как отмечают А. Е. Болгов и др. (2018). Учет усвоения и переваримости питательных веществ позволит вовремя скорректировать рационы, опираясь на известные сведения преобразования питательных веществ из дисперсной системы в более твердую.

В данной форме определенная доля нутриентов подвергается гидролизу и абсорбируется эпителиальными структурами желудочно-кишечной системы, другая часть выводится с калом, о чем приводит сведения Т. М. Тохметов (2015). По А. И. Овсянникову, только через 2-3 дня съеденный корм пройдет полностью через пищеварительный тракт крупного рогатого скота. Обязательно следует учитывать возникающий дефицит энергии при лактации, который может быть восстановлен за счет тканевых резервов и при скормливания высокопротеинового корма.

При коррекции рационов нами было получено уравнение регрессии для расчета оптимизированного по протеину (b2) рациона с учетом живой массы коров и суточного удоя для коров опытной группы 1:

$$b_2 = 169,90 + 0,99M_{ж} + 100,35U_{з} \quad (2)$$

Итак, фактическую поедаемость рациона коровами определяли в течение двух суток при учете количества несъеденных остатков (табл. 1).

Таблица 1 – Переваримость питательных веществ корма (в среднем)

| Исследуемые параметры | Контрольная группа 1 Хср ± δ | Контрольная группа 2 Хср ± δ | Опытная группа 1 Хср ± δ | Опытной группа 2 Хср ± δ |
|---|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Сухое вещество | 66,04±1,11 | 66,63±1,09 | 73,00±1,60 | 68,23±1,20 |
| Органическое вещество | 58,80±1,09 | 62,71±1,12 | 70,10±1,01 | 65,60±1,00 |
| Протеин | 59,55±1,54 | 62,16±2,01 | 74,05±4,70 | 73,86±2,57 |
| Жиры | 59,56±1,40 | 62,76±2,01 | 65,05±3,09 | 63,85±2,00 |
| Клетчатка | 49,66±1,17 | 51,20±1,03 | 64,70±3,60 | 59,80±1,99 |
| Безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) | 69,79±1,07 | 74,72±0,01 | 77,68±2,16 | 75,32±2,00 |

α=0,05

Анализ данных таблицы 1 демонстрирует преимущества в усвояемости нутриентов у животных первой опытной группы, получавших кормовые добавки как в сухостойный, так и в лактационный периоды по сравнению с животными контрольных групп 1 и 2 и опытной группы 2, получавшими премикс только в дойный период соответственно:

сухое вещество – на 10,6 %, 9,6 и 6,6 %, органическое вещество – на 19,0 %, 11,8 и 7,0 %, протеин – на 24,3 %, 19,2 % и 1,1 %, жир – на 91,1 %, 3,7 и 1,7 %, клетчатка – на 29,4 %, 26,4 и 8,2 % и БЭВ – на 11,2 %, 4,0 и 3,1 % соответственно.

Статистическая обработка данных методом дисперсионного анализа с расчетом критерия Фи-



шера подтвердила достоверность межгрупповых различий ($F_{расч}=2,68 > F_{крит}=2,40$), что свидетельствует о закономерном характере выявленных расхождений.

По результатам балансового эксперимента с учетом данных химического анализа кормовых смесей, их остатков, экскрементов и молока был определен баланс азота (табл. 2).

Таблица 2 – Баланс азота у коров контрольных и опытных групп (в среднем)

| Показатели | Коровы | | | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------|-------------|
| | Контрольной группы 1 | Контрольной группы 2 | Опытной группы 1 | Опытной |
| Потреблено, г | 280,70±0,02 | 299,53±0,01 | 329,40±0,01 | 308,38±0,01 |
| Переварено, г | 182,20 | 208,18 | 246,12 | 228,2 |
| Выделено с калом, г | 98,50±0,1 | 91,35±0,01 | 83,28±0,02 | 80,18±0,02 |
| Выделено с мочой, г | 75,50±0,07 | 78,68±0,01 | 79,00±0,01 | 78,60±0,01 |
| Усвоено, г | 96,70 | 129,50 | 157,12 | 149,60 |
| от принятого, % | 30,66±0,08 | 36,60±0,32 | 43,40±0,12 | 39,90±0,68 |
| от переваренного, % | 51,45±2,12 | 53,52±0,54 | 59,64±1,72 | 55,99±0,56 |
| Выделено с молоком, г | 104,50 | 124,40 | 137,25 | 131,00 |
| от принятого, % | 28,20±0,3 | 32,30±0,36 | 44,50±0,38 | 36,85±0,21 |
| от переваренного, % | 44,10±0,33 | 48,80±0,41 | 59,44±0,74 | 54,88±0,77 |
| Баланс, (±) г | +0,2 | +5,1 | +19,87 | +18,6 |

Примечание: $\alpha=0,05$

Анализируя представленные в таблице 2 результаты расчетов, во всех группах коров складывается положительный баланс азота, что, по мнению исследователей, указывает на преимущество синтеза белка над его распадом. Так, животные контрольной группы 1 с калом выделяли азота больше по сравнению с другими группами на 2,7 %, 5,5 % и 8,6 % соответственно. Выделение азота с мочой было выше у коров опытной группы 2 на 4,5 %, чем у коров контрольной группы 1, по +0,5 % – по сравнению с коровами двух других групп. В тканях организма животных опытной группы 1 отложено азота больше на 38,5 %, 17,6 %

и 5,0% по сравнению с другими группами. Использование азота рационов на биосинтез молочного белка у коров опытной группы 1 оказалось более высоким по сравнению с другими соответственно на 23,9 %, 9,4 % и 4,6 %.

При уровне значимости, равном 0,05 допустимая вероятность совершения статистической ошибки первого рода (влияние премиксов), различия в результатах существенны в Но-гипотезе, а на самом деле случайны только в 5 % случаев.

На рисунках 4 и 5 отображены результаты определения продуктивности коров и содержания белка в молоке.

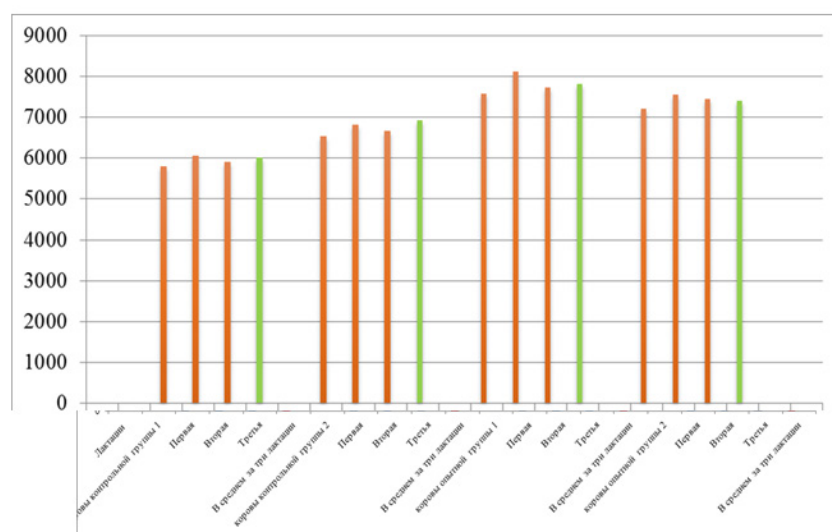


Рис. 4 – Удой коров в опыте за 3 лактации, кг
 1, 2, 3 лактации,
 средняя за три лактации

*Примечание: $\alpha=0,05$

Fig. 4 – Milk yield of cows in the experiment over 3 lactations, kg
 Lactations 1, 2, 3
 average over three lactations

*Note: $\alpha=0.05$

На рисунке 4 результаты удоев представлены в виде диаграммы, на которой вторые столбцы более длинные, показывающие максимальный удой во вторую лактацию.

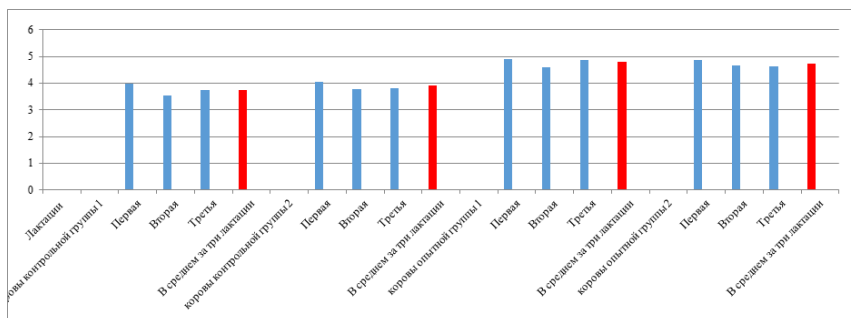


Рис. 5 – Содержание белка в молоке, %

1, 2, 3 лактации

■, среднее за три лактации

*Примечание: $\alpha=0,05$

Fig. 5 – Protein content in milk, %

■ Lactations 1, 2, 3

■ average over three lactations

*Note: $\alpha=0.05$

Содержание белка в молоке, наоборот, было выше в первую лактацию (рис. 5). При сравнении этого показателя по вариантам опыта отмечено превышение белка в молоке опытной группы 1 коров на 0,02 %, 0,84 % и 0,92 % соответственно вариантам опыта.

Для примера статистическая связь между содержанием белка в кормовой массе и молоке, вводимого в рацион премикса и величиной удоев показана на диаграмме рассеяния для опытной группы 2.

Наибольшие значения функции равны 1, а меньшие -1. Таким образом, диапазон молочной продуктивности в начальную лактацию составляет интервал 6471-6503 кг при коэффициенте регрессии $z=5,9 + 378,5x + 7,5y$, во вторую – 7443-7506 кг при коэффициенте регрессии $z=6,9 + 799,6x - 1,2y$, в третью – между 6849-6928 кг при коэффициенте регрессии

$z=6,0 + 560,0x - 4,0y$. Анализ корреляционного распределения демонстрирует, что применение обогащенных премиксами кормовых смесей создает благоприятные условия для синтеза протеина без снижения показателей молочной продуктивности.

Известно, что такой показатель, как оборот стада, определяет возможность отрасли по производству и реализации продукции, росту поголовья, потребности в кормах и др. Одним из путей повышения продуктивности коров и качества продукции, в частности, повышения содержания белка в молоке, является сбалансированность рациона [2]. При моделировании были учтены дополнительные расходы на производство высокобелковых кормовых культур, приобретение премиксов и т.п.

Стадо джерсейского скота в хозяйстве включало следующие половозрастные группы, что показано в таблице 3.

Таблица 3 – Структура стада джерсейского скота по половозрастным группам, гол.

| Половозрастные группы скота | Наличие на начало года | Проход | | Расход | | Наличие на конец года |
|-----------------------------|------------------------|---------|------------------------------|--------|------------------------|-----------------------|
| | | приплод | поступление из младших групп | падеж | выбраковка, реализация | |
| Коровы | B_1 | | X_8 | D_1 | X_1 | X_{13} |
| Нетели | B_2 | | X_9 | D_2 | X_2 | X_{14} |
| Телки старше года | B_3 | | X_{10} | D_3 | X_3 | X_{15} |
| Телки до года | B_4 | | X_{11} | D_4 | X_4 | X_{16} |
| Бычки до года | B_5 | | X_{12} | D_5 | X_5 | X_{17} |
| Телки-приплод | | M_6 | | D_6 | X_6 | |
| Бычки-приплод | | M_7 | | D_7 | X_7 | |

При проведении математического моделирования были определены значения переменных X_j , то есть тех факторов, от которых зависит продуктивность в максимальных величинах [2]:

$$f(x)=0,42r_jB_i+0,48r_jX_i \longrightarrow \max(j \in N) \quad (3)$$

с учетом

1) структуры стада по половозрастным группам $B_i+D_{ij}-D_i-a_{ij}x_{ij}=a_{ij}x_{ij}$

2) перехода животных в другие возрастные группы $B_i-D_i=a_{ij}x_{ij}-a_{ij}x_{ij}$

3) соблюдения зоотехнических требований $a_{ij}x_{ij} \geq Q_i$

4) неотрицательности переменных в матрицах $X_j \geq 0$, когда они больше или равны 0.

Поголовье на начало каждого последующе-

го периода соответствовало значениям на конец предшествующего периода.

По условиям решаемых задач по воспроизводству стада были запрограммированы мероприятия:

– приход на 1 нетель 1,5 телки старше года; на 1 телку старше года – от 1,3 телки до года;

– использование сексированного семени, что в первые три года даст 85 % плодотворного осеменения, а далее при использовании 2-3 дозы на нетель и первотелок и доведение плодотворного осеменения до 96 %;

– 15 % животных планировалось осеменять обычным семенем в расчете 2 дозы на одну голову (табл. 4).



Таблица 4 – Изменение численности потомства в течение расчетного периода, гол.

| Группы приплода | 1 год | 2 год | 3 год | 4 год | 5 год | 6 год | 7 год | 8 год |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Телки | 11 | 14 | 16 | 18 | 20 | 17 | 18 | 15 |
| Бычки | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 |

Процент выбраковки коров предполагался 1,3 %. Бычки – на реализацию.

Учитывая среднюю продуктивность джерсейских коров в хозяйстве и среднее содержание бел-

ка в молоке, была поставлена цель повышения этих показателей до 80 ц и 4,80 % соответственно. Результаты решения задач представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные результаты моделирования

| Показатели | факт | 1 год | 2 год | 3 год | 4 год | 5 год | 6 год | 7 год | 8 год | 9 год |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Поголовье коров на начало года, гол. | 368 | 368 | 368 | 372 | 379 | 384 | 388 | 391 | 403 | 404 |
| в т.ч. продуктивностью 80 ц, гол | 44 | 44 | 68 | 100 | 120 | 180 | 224 | 265 | 302 | 404 |
| Поголовье коров на конец года, гол. | 368 | 368 | 368 | 376 | 385 | 398 | 408 | 410 | 415 | 418 |
| в т.ч. продуктивностью 80 ц, гол | 44 | 68 | 100 | 140 | 194 | 296 | 368 | 407 | 411 | 418 |
| Валовый надой, ц | 21344 | 21344 | 22816 | 24064 | 25410 | 28656 | 30600 | 31980 | 32785 | 33440 |
| Среднегодовой надой на 1 гол., ц | 59 | 59 | 62 | 64 | 68 | 72 | 75 | 78 | 79 | 80 |
| Содержание белка в молоке, % | 3,75 | 3,75 | 3,82 | 3,90 | 4,34 | 4,49 | 4,58 | 4,68 | 4,75 | 4,80 |

Применение методов математического моделирования позволило спрогнозировать развитие молочного скотоводства при оптимизации рациона и введении премиксов Dry для сухостойных и БВМК для дойных коров в АО Племзавод «Ульянино» на расчетный период. Как видно из данных таблицы 4, на конец планового периода количество скота возросло на 9,8 %, валовой надой молока с учетом увеличения поголовья и продуктивности возрос 56,7 %, содержание белка в молоке – на 1,05 % [8]. Следует отметить, что теоретические значения всегда выше фактических из-за неучтенности иных факторов, например, индивидуальные особенности животных, способность длительно удерживать удои на высоком уровне в течение лактации и пр. [9]. Построенный график содержания белка в молоке носит синусоидный характер, показывающий распределение исследуемых параметров по отдельным отрезкам времени: вначале рост, затем стабилизацию и позже – убывание (рис. 6).

Интерпретация графика поверхность отклика между изучаемыми показателями: введение премиксов показывает действенное воздействие на белкомолочность по отдельным отрезкам времени: в начале рост, позже стабилизация и затем убывание функции, то есть даже теоретически бесконечного роста показателя нет, а м.д.б.=4,80% на современном этапе есть предел.

График (рис.6) демонстрирует динамику содержания белка в молоке коров опытной группы 1 после введения в рацион премикса БВМК в дозировке 150 г/гол/сут. в дойный период с учетом

внесения в комбикорм премикса Dry в сухостойный период. Анализ графика позволяет сделать следующие выводы: перед введением премикса БВМК, содержание белка в молоке у коров в данном хозяйстве находилось на уровне 3,75 %. Это можно считать базовым уровнем содержания белка в молоке при существующем рационе кормления. Введение премикса БВМК способствовало нелинейному росту уровня белка в молоке. Так, на начальном этапе наблюдается относительно медленный рост. Затем темп роста увеличивается, и кривая становится более крутой. Далее – темп роста угасает.

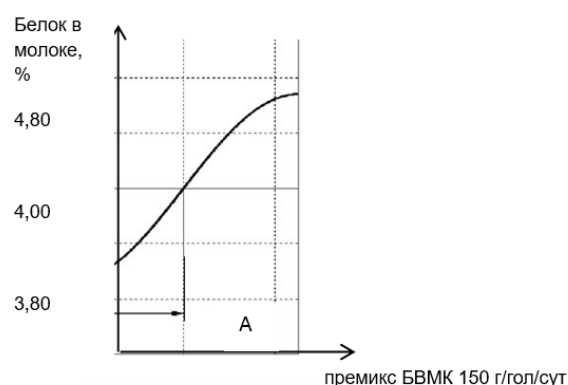


Рис. 6 – Кривая роста содержания белка в молоке от введения в рацион премикса БВМК коровам опытной группы 1

Fig. 6 – Curve of the increase in milk protein content depending on the introduction of the PVMC premix into the diet of cows in experimental group 1

Предельная концентрация протеина в молоке, достигнутая при использовании белково-витаминно-минерального комплекса в схеме кормления, приближается к 4,8 %, превышая исходный показатель на 1 %. Характер графической зависимости свидетельствует о том, что дополнительное наращивание дозировки БВМК, по всей видимости, не обеспечит существенного роста протеиновой составляющей молока.

График имеет синусоидальный характер, описываемый уравнением:

$$Y = A \sin(Bx + C) + D, \quad (4)$$

где A – амплитуда, характеризующая растяжение графика по оси OY ,

B – вертикальный сдвиг графика по оси OY (вверх/вниз),

C – циклическая частота периода колебаний и растяжение графика по оси OX ,

D – начальная фаза сдвига графика по оси OX (влево/вправо).

График имеет такие характеристики, как
функция ограничена сверху и снизу: $-1 \leq \sin x \leq 1$.
функция нечётная: $\sin(-x) = -\sin x$. Поэтому график симметричен относительно начала координат.
функция периодическая с периодом 2π . Через определённые промежутки вид графика повторяется.

Максимальные значения достигаются в точках $x = \frac{\pi}{2} + 2\pi k$,

минимальные – в точках $x = \frac{3\pi}{2} + 2\pi k$.

Нули функции достигаются в точках $x = \pi k$.

Функция возрастает на отрезках $-\frac{\pi}{2} + 2\pi k \leq x \leq \frac{\pi}{2} + 2\pi k$,

убывает – на отрезках: $\frac{\pi}{2} + 2\pi k \leq x \leq \frac{3\pi}{2} + 2\pi k$.

Функция непрерывна.

Часть синусоиды для $0 \leq x \leq 2\pi$ называют волной синусоиды, а часть для $0 \leq x \leq \pi$ – полуволной или аркой синусоиды.

Далее для всех участвующих в опыте групп построены нормали, то есть прямые, перпендикулярные к касательной прямой в заданной точке (рис. 7) по методике сотрудников Санкт-петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики.

В моделировании нормали – это векторы, которые перпендикулярны поверхности объекта. Они помогают определить, как действенный фактор, в нашем случае – введение в рационы премиксов, взаимодействует с ростом белка в молоке, что влияет на визуальное восприятие модели. Нормали являются важным элементом в процессе создания моделей.

Расшифровка рисунка следующая. Точка A отображает вносимый премикс БВМК. Q обозначены рационы в сухостойный и дойный периоды (раздой, разгар и спад), а отрезки 1-11, 2-21, 3-31 и 4-41 показывают рост концентрации протеина в корме при введении премиксов Dry и БВМК, векторные отрезки 1-4, направленные вниз, визуализируют уровень протеина в молоке при использовании кормовых добавок (в период сухостоя применялся Dry, отражающий общий протеин плазмы крови). Маркеры на концах нор-

малей соответствуют прогнозируемым значениям белкового компонента в кормовых смесях и молоке. Отрезки 11,21,31,41 вверх повторяют синусоидальный характер графика.

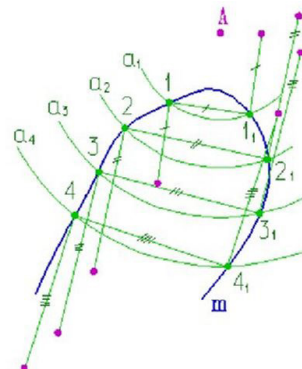


Рис. 7 – Общий вид нормали
Fig. 7 – General view of the normal

Таким образом, волнообразная кривая m (синий цвет) является графиком функции $y = \sin(x)$. Функция (содержание белка в молоке) возрастает и после некоторой стабилизации при достижении максимума начинает убывать.

Заключение

Анализируя вышеизложенное, оптимальными явились сбалансированные рационы с введением премиксов Dry и БВМК для коров в сухостойный и дойный периоды, причем рационы в лактацию учитывали ее фазы: раздоя, разгара и спада (опытная группа 1). Так, коровы этой группы по сравнению с коровами контрольной группы 2 имели лучшую переваримость, а баланс азота был выше, продуктивность коров выросла на 14 %, а содержание белка в молоке – на 0,84 %. Применение методов математического моделирования позволило спрогнозировать продуктивность стада в АО «Ульянино» на восьмилетний период с учетом использования сбалансированных рационов с введением премиксов Dry в сухостойный период и БВМК в дойный период. За счет собственного воспроизводства поголовье коров возрастает. Валовой надой молока за счет этого увеличился на 56,7 %. Содержание белка в молоке увеличилось с 3,75 % до 4,80 %.

Результаты математического моделирования сведены к установлению максимальных показателей продуктивности джерсейских коров в данных условиях с пределом удоя в 80 ц молока и содержанием белка в молоке 4,80 %.

Список источников

1. Васильков, Ю.В. Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 256 с.
2. Волкова, Г.А. Использование методов математического моделирования при планировании развития молочного скотоводства / Г.А. Волкова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе, 2014. – №3(11). – С.35-39.
3. Востроилов, А. В. Адаптация и производственное долголетие импортного крупного рогато-



го скота в условиях промышленного комплекса / А. В. Востроилов, Е. С. Артемов, С. И. Капустин // Молочное и мясное скотоводство, 2022. - № 4. - С. 26-30.

4. Зернов, Р.В. Соотношение цены и качества новых премиксов и экономическая эффективность их применения для высокопродуктивных коров / Р.В. Зернов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2009.- № 5 (197). - С. 122-125.

5. Денисов, Н.И. Методические подходы к составлению рецептов премиксов для сельскохозяйственных животных и проверки их на животных/ Н.И. Денисов и др. // В кн. «Комплексное использование БАВ в кормлении животных». – Горки, 1974.- С.17-38.

6. Латыпова Э.Х. Молочная продуктивность коров при использовании в рационах премиксов / Э.Х. Латыпова, Х.Х. Тагиров, Н.Г. Кутлин, Ф.А. Гафаров // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии, 2023. -№ 4 (30). - С. 64-70.

7. Лебеденко, А.В. Эффективность использования премикса "Лаура" при кормлении высокопродуктивных лактирующих коров в период раздоя / А.В. Лебеденко, В.П. Клименко // Адаптивное

кормопроизводство, 2024. - № 2. - С. 46-56.

8. Перепелкина, В.А. Основные селекционные признаки джерсейского скота стада ЗАО «Ульянино»/ В.А. Перепелкина // Аграрная Россия, 2012. – №8.- С. 34-38.

9. Тарасова, К.Ю. Влияние премикса «Руми-Микс-3» на молочную продуктивность и показатели рубцового содержимого коров / К.Ю. Тарасова, Н.Н. Швецов, С.В. Чехранова, С.И. Николаев, Д.Ю. Елизаров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса, 2024. – №2(74). – С. 264-272.

10. Шагалиев, Ф. М. Молочная продуктивность, технологические качества и сыропригодность молока коров разных генотипов / Ф. М. Шагалиев // Зоотехния, 2021. – № 12. – С. 34-38.

11. Юхина, Д.Э. Молочная продуктивность джерсейских коров разных линий в зависимости от типа нервной деятельности / Д.Э. Юхина, О.А. Захарова // Вестник РГАТУ, 2023. - №3. – Т.15. – С.69-77.

12. Юхина, Д. Э. Сравнительная оценка продуктивности джерсейских коров разных линий / Д. Э. Юхина, О. А. Захарова // Зоотехния, 2023. – № 7. – С. 10-13.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Vasil'kov, Yu.V. *Komp'yuterny'e tekhnologii vy'chislenij v matematicheskom modelirovanii*. -M.: Finansy i statistika, 2002. – 256 s.

2. Volkova, G.A. *Ispol'zovanie metodov matematicheskogo modelirovaniya pri planirovanii razvitiya molochного skotovodstva* / G.A. Volkova // *Modeli, sistemy, seti v e'konomike, tekhnike, prirode i obshhestve*, 2014. - №3(11). – S.35-39.

3. Vostroilov, A. V. *Adaptatsiya i proizvodstvennoe dolgoletie importnogo krupnogo rogatogo skota v usloviyax promyshlennogo kompleksa* / A. V. Vostroilov, E. S. Artemov, S. I. Kapustin // *Molochное i myasное skotovodstvo*, 2022. - № 4. - С. 26-30.

4. Zernov, R.V. *Sootnoshenie ceny i kachestva novy'x premiksov i e'konomicheskaya e'ffektivnost' ix primeneniya dlya vy'sokoproduktivny'x korov* / R.V. Zernov // *Sibirskij vestnik sel'skoxozyajstvennoj nauki*, 2009.-

Denisov, N.I. *Metodicheskie podxody k sostavleniyu receptov premiksov dlya sel'skoxozyajstvenny'x zhivotny'x i proverki ix na zhivotny'x*/ N.I. Denisov i dr. // V kn. «*Kompleksnoe ispol'zovanie BAV v kormlenii zhivotny'x*». – Gorki, 1974.- S.17-38.

6. Laty'pova E`X. *Molochnaya produktivnost' korov pri ispol'zovanii v racionax premiksov* / E`X. Laty'pova, X.X. Tagirov, N.G. Kutlin, F.A. Gafarov // *Aktual'ny'e voprosy sel'skoxozyajstvennoj biologii*, 2023. -№ 4 (30). - S. 64-70.

7. Lebedenko, A.V. *E'ffektivnost' ispol'zovaniya premiksa Laura pri kormlenii vy'sokoproduktivny'x laktiruyushhix korov v period razdoya* / A.V. Lebedenko, V.P. Klimenko // *Adaptivnoe kormoproduzvodstvo*, 2024. - № 2. - С. 46-56.

8. Perepelkina, V.A. *Osnovny'e selekcionny'e priznaki dzhersejskogo skota stada ZAO «Ul'yanino»*/ V.A. Perepelkina // *Agrarnaya Rossiya*, 2012. – №8.- S. 34-38.

9. Tarasova, K. Yu. *Vliyanie premiksa «RumiMiks-3» na molochnuyu produktivnost' i pokazateli rubczovogo soderzhimogo korov* / K. Yu. Tarasova, N.N. Shveczov, S.V. Chexranova, S.I. Nikolaev, D. Yu. Elizarov // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa*, 2024. – №2(74). – S. 264-272.

10. Shagaliyev, F. M. *Molochnaya produktivnost', tekhnologicheskie kachestva i sy'roprigodnost' moloka korov razny'x genotipov* / F. M. Shagaliyev // *Zootexniya*, 2021. – № 12. – С. 34-38.

11. Yuxina, D.E`. *Molochnaya produktivnost' dzhersejskix korov razny'x linij v zavisimosti ot tipa nervnoj deyatel'nosti* / D.E`. Yuxina, O.A. Zaxarova // *Vestnik RGATU*, 2023. - №3. – Т.15. – S.69-77.

12. Yuxina, D. E`. *Sravnitel'naya ocenka produktivnosti dzhersejskix korov razny'x linij* / D. E`. Yuxina, O. A. Zaxarova // *Zootexniya*, 2023. – № 7. – С. 10-13.



Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Кучер Оксана Геннадиевна, соискатель кафедры технологии общественного питания и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», oksik004@gmail.com

Машкова Елена Ивановна, канд. экон. наук, доцент кафедры бизнес-информатики и прикладной математики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», elena_mashkova@mail.ru

Захарова Ольга Алексеевна, д-р с.-х. наук, профессор кафедры технологии общественного питания и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ol-zahar-ru@yandex.ru

Author Information

Kucher Oksana G., applicant for a scientific degree, Department of Public Catering Technology and Agricultural Products Processing, Ryazan State Agrotechnological University Named After P.A. Kostychev, oksik004@gmail.com

Mashkova Elena I., Candidate of Economic Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Department of Business Informatics and Applied Mathematics, Ryazan State Agrotechnological University Named After P.A. Kostychev, elena_mashkova@mail.ru

Zakharova Olga A., Doctor of Agricultural Sciences (D.Sc.), Professor, Department of Public Catering Technology and Agricultural Products Processing, Ryazan State Agrotechnological University Named After P.A. Kostychev, ol-zahar-ru@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 29.09.2025; одобрена после рецензирования 13.11.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 29.09.2025; approved after reviewing 13.11.2025.; accepted for publication 15.12.2025





Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №.4 с. 69-75
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №.4, pp 69-75

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 63.633.491: 631.527.6
DOI: 110.36508/RSATU.2025.38.88.009

ПОЛУЧЕНИЕ ОЗДОРОВЛЕННОГО ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА КАРТОФЕЛЯ
В УСЛОВИЯХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Евгения Геннадьевна Куликова¹ ✉, Роман Геннадьевич Чугуров², Илья Витальевич Бирюков³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», г. Пенза, Россия

¹ kulikova.e.g@pgau.ru

² chugurov.r.g@pgau.ru

³ ilia.biryuckoff@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В настоящее время идет активный поиск и апробация новых способов и технологий, в том числе и ускоренных, получения оздоровленного посадочного и посевного материалов. Целью исследований являлось сравнение субстратного и аэропонного способов выращивания мини-клубней картофеля.

Методология. Выращивание миниклубней картофеля в горшечной культуре проводили в крытых летних проветриваемых теплицах. В опыте использовались сорта российской селекции: Даренка, Русский сувенир, Садон, Ариэль, Краса мещеры. Выращивание миниклубней картофеля на аэропонике проводили в круглогодичном вегетарии. Питательный раствор Кнопа под давлением распылялся непосредственно на корни растений в автоматическом режиме.

Результаты. Получение оздоровленного посадочного материала картофеля традиционным способом в субстрате показало, что среднее количество миниклубней по сортам составило 10,96 шт./сосуд. За период клубнеобразования сорта Ариэль в аэропонной установке было проведено 12 сборов миниклубней. Период их нарастания составил 7-18 дней. Время сбора определялось при достижении клубней размера 10-15 мм. За вегетационный период в аэропонной установке сорт картофеля Ариэль сформировал 509 шт. миниклубней с общей массой 3399 г. (с 10 растений). Сравнительная характеристика продуктивности сорта картофеля Ариэль при разных способах выращивания показала, что в аэропонике продолжительность вегетационного периода картофеля увеличилась в 2,3 раза. Количество миниклубней с одного растения (коэффициент размножения) увеличилось также в 7,3 раза, масса – в 2,8 раза.

Заключение. Безсубстратный способ выращивания оздоровленного посадочного материала картофеля является более эффективным по сравнению с субстратным. На аэропонике все показатели продуктивности картофеля (миниклубней) увеличились в несколько раз. За год можно осуществить два оборота.

Ключевые слова: семеноводство картофеля, оздоровленный посадочный материал, миниклубни, аэропоника, коэффициент размножения

Для цитирования: Куликова Е.Г., Чугуров Р.Г., Бирюков И.В. Получение оздоровленного посадочного материала картофеля в условиях Пензенской области // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т. 17, № 4, С. 69-75 <https://doi.org/110.36508/RSATU.2025.38.88.009>

Original article

OBTAINING HEALTHY POTATO PLANTING MATERIAL IN THE PENZA REGION

Evgenia G. Kulikova¹ ✉, Roman G. Chugurov², Ilya V. Biryukov³

^{1,2,3} Penza State Agrarian University, Penza, Russia

¹ kulikova.e.g@pgau.ru

² chugurov.r.g@pgau.ru

³ ilia.biryuckoff@yandex.ru

**Annotation.**

The problem and the goal. Currently, there is an active search and testing of new methods and technologies, including accelerated ones, for obtaining healthy planting and sowing materials. The purpose of the research was to compare the substrate and aeroponic methods of growing potato mini-tubers.

Methodology. The cultivation of potato mini-tubers in pot culture was carried out in indoor summer ventilated greenhouses. The experiment used varieties of Russian breeding: Darenka, Russki suvenir, Sadon, Ariel, Krasa Meshchera. The cultivation of potato mini-tubers using aeroponics was carried out in a year-round vegetarium. Knop's solution was sprayed directly onto the roots of plants under pressure in automatic mode.

Results. Obtaining healthy potato planting material in the traditional way in the substrate showed that the average number of mini-tubers by variety was 10.96 pcs./vessel. During the period of tuber formation of the Ariel variety, 12 mini-club collections were carried out in the aeroponic installation. Their growth period was 7-18 days. The harvest time was determined when the tubers reached a size of 10-15 mm. During the growing season, the Ariel potato variety formed 509 mini-tubers with a total weight of 3399 g (from 10 plants) in the aeroponic installation. A comparative characteristic of the productivity of the Ariel potato variety under different growing methods showed that in aeroponics, the duration of the potato growing season increased 2.3 times. The number of mini-tubers per plant (the reproduction rate) also increased by 7.3 times, and the mass increased by 2.8 times.

Conclusion. The substrate-free method of growing healthy potato planting material is more effective than the substrate method. In aeroponics, all indicators of potato productivity (mini-tubers) have increased several times. It is possible to make two turns in a year.

Key words: potato seed production, improved planting material, mini tuber, aeroponics, reproduction coefficient

For citation: Kulikova E.G., Chugurov R.G., Biryukov I.V. Obtaining healthy potato planting material in the Penza Region // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.4, P. 69-75 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.38.88.009>

Введение

Картофель является одной из ведущих сельскохозяйственных культур и выполняет стратегическую государственную функцию по обеспечению основной массы населения продуктами питания.

В исследованиях, проведенных ФГБУ «Россельхозцентр» и ГНУ ВНИИКХ Россельхозакадемии выявлено, что одним из главных негативных факторов, оказывающих влияние на получение высоких и стабильных урожаев картофеля, является низкое качество используемого посадочного материала. В картофеле ежегодно накапливается большое количество возбудителей заболеваний, в том числе и вирусных, которые с каждым годом получают все большее распространение, что требует периодического обновления семенного материала.

В России и мире используется преимущественно вегетативный способ размножения картофеля и большая часть посадочного материала остается зараженной. Семеноводство является обязательным условием успешного ведения сельскохозяйственного производства. Селекционный процесс картофеля, главное направление которого – создание отечественных сортов с иммунитетом к распространенным заболеваниям или оздоровленных [9], является в условиях импортозамещения необходимостью.

Для сортов картофеля, внесенных в государственный реестр, устанавливается система поддержания качества семенного материала, которая распространена на всё семеноводство от производства оригинального до элитного посевного (посадочного) материала и основывается на выращивании оздоровленных растений [8]. Жевора С.В. в своих исследованиях указывает, что современный процесс семеноводства картофеля предполагает

сочетание биотехнологических методов оздоровления растений на основе технологии in vitro.

Способ выращивания семенного картофеля в субстрате является традиционным, но дорогостоящим, при его использовании мы имеем низкую урожайность и повышенный риск заражения болезнями через грунт. В качестве альтернативы выгоднее и целесообразнее применение аэропонной технологии. Таким образом, современное производство микроклубней ориентировано на аэропонные системы выращивания [2,4,12].

Способы выращивания семенного картофеля в водной культуре известны достаточно давно [5-7]. Аэропоника – это безсубстратная технология выращивания, при использовании которой растения получают питательные вещества из распыленного на корни аэрозоля. В отличие от гидропонного метода, при котором корни растений погружены в питательный раствор, в аэропонных установках питательная жидкость под давлением попадает непосредственно на корневую систему растения.

Басиев С.С., исследуя выращивание микроклубней картофеля в аэропонике, установил, что наибольший коэффициент размножения имеют сорта со слабой степенью ветвления и низкорослые побеги. Вегетационный период растений на аэропонике – от четырех до восьми месяцев, за который с одного растения можно получить в среднем около 45 микроклубней разного размера. Максимальный потенциал картофеля при круглогодичном выращивании может составлять до 250-300 микроклубней с одного растения [1]. Ряд авторов показывает в своих исследованиях, что в условиях аэропонной установки вегетативная масса растений развивается более интенсивно и наблюдается повышенное клубнеобразование при разреженном размещении растений, что гово-



рит о необходимости увеличения площади питания под одно растение [4,13,18,19,20].

Различно мнение ученых по вопросу минерального питания растений в аэропонных установках [14-18], но большинство рекомендует для картофеля стандартный раствор Кнопа [6], который подается с определенным интервалом, концентрация доводится до полной по мере роста и развития растений.

Поэтому в настоящее время идет активный поиск и апробация новых способов и технологий, в том числе и ускоренных, получения оздоровленного посадочного материала картофеля.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2023-2025 гг. на базе Пензенского ГАУ. Пробирочный материал разных сортов оздоровленного ВНИИКС им. А. Г. Лорха картофеля на основе *in vitro* из апикальных меристем выращивался в световой комнате лаборатории безвирусного размножения растений университета при температуре 22° С и 14-часовом фотопериодизме (3000 лк) (рис. 1).



Рис. 1 – Пробирочный материал оздоровленного картофеля в световой комнате

Fig. 1 – Test tube material of healthy potatoes in a light room

Опыт по выращиванию миниклубней картофеля в горшечной культуре проводили в соответствии с методикой исследований по культуре картофеля [8] в крытых летних проветриваемых теплицах, находящихся на плоской крыше учебного корпуса на уровне 3 этажа, что частично изолировало растения от попадания патогенных объектов. В качестве почвенного субстрата использовали «Агробалт-С» (0-20 мм, pH 5,5-6,0), основа которого верховой сфагновый торф низкой степени разложения. В его составе присутствует также известняковая (доломитовая) мука для стабилизации кислотности среды и комплексное минеральное удобрение, включающее весь спектр необходимых растению питательных элементов. В пластиковые сосуды на 5 л высаживали по два пробирочных растения во 2-3-й декадах июня. Полную уборку миниклубней завершали в 1-2-й декадах октября. В период вегетации растений проводили регулярный полив и

двукратную подкормку калий монофосфатом (300г на 100л). В опыте использовались сорта российской селекции, в том числе и Пензенской: Даренка, Русский сувенир, Садон, Ариэль, Краса мещеры (рис. 2).



Рис. 2 – Выращивание миниклубней картофеля в горшечной культуре в летней теплице

Fig. 2 – Growing potato mini-tubers in a potted culture in a summer greenhouse

Опыт по выращиванию миниклубней картофеля по аэропонной технологии был заложен на аэропонной установке (производитель ТСХА) в круглогодичном вегетариуме университета в соответствии с методическими указаниями по технологии селекционного процесса картофеля [9]. Пробирочные растения помещали в аэропонику во 2-3-й декадах ноября, последний сбор миниклубней проводили в 1-2-й декадах мая. Мелкодисперсный питательный раствор Кнопа через форсунки периодически распылялся на корневую систему растений (продолжительность распыления – 25 сек, один раз в 15 мин). Схема размещения растений картофеля в аэропонной установке 20х20 см. Доступ света к корневой системе картофеля был ограничен. В фазу активного роста побегов проводили «окучивание» картофеля, путем опускания растения в неосвещенную часть установки на 5 см. В России размер миниклубней для семенных целей регламентируется ГОСТом Р 53136-2008 [3]. Для категории оригинальных семян установлен диаметр миниклубней 7-55 мм. Поэтому сбор проводили при диаметре миниклубней 10-12 мм. Продолжительность до-



свечивания многоканальными лампами с мультиспектром составляла 16 ч. В опыте использовали сорт российской селекции Ариэль (рис. 3).



Рис. 3 – Выращивание миниклубней картофеля в аэропонной установке в вегетарии

Fig. 3 – Growing potato mini-tuber in an aeroponic system in a vegetarium

Фенологические наблюдения за растениями выполняли согласно «Методике исследований по культуре картофеля». Оценка состояния ботвы и поражения растений болезнями проводили в течение вегетационного периода и перед уборкой. Динамику формирования урожая и его структуру (количество клубней и масса клубней на куст по фракциям) определяли в уборочной пробе по методике НИИКХ [8]. Оценка продуктивности миниклубней картофеля проводили в соответствии с методическими указаниями по технологии селекционного процесса картофеля по основным показателям: количество клубней с 1 растения (шт.), средняя масса 1 клубня (г), масса клубней с 1 растения (г), средняя масса клубня и его диаметр [9]. Для обработки данных использовали компьютерные программы MS Excel.

Результаты исследований

Показатели продуктивности картофеля (миниклубней) при выращивании в субстрате зависели от сортовых особенностей и группы по срокам созревания. Наиболее продуктивными показали себя сорта с компактным кустом, слабораскидистые. Получение оздоровленного посадочного материала картофеля традиционным способом в субстрате показало, что среднее количество миниклубней по сортам составило 10,96 шт. с сосуда. Наилучшие результаты показал сорт Ариэль – на 26,8 % выше среднего. Ниже среднего показали себя Русский сувенир и Садон – на 27,9 и 9,7 % соответственно. Средняя масса миниклубней с сосуда составила 219,14 г. Наибольший результат показал сорт Даренка (на 22,6 % выше среднего), наименьший – Садон и Краса мещеры (на 32,8 и 13,2 % соответственно). Средний диаметр миниклубней по сортам составил 20-50 мм (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели продуктивности картофеля (миниклубней) при выращивании в субстрате

| Сорта | Количество мини клубней, шт./сосуд | Разница со средним значением, (+-) шт. | Масса мини клубней, г/сосуд | Разница со средним значением, (+-) г |
|-----------------|------------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------------|
| Даренка | 11,7 | -0,74 | 268,7 | +49,56 |
| Русский сувенир | 7,9 | -3,06 | 250,4 | +31,26 |
| Садон | 9,9 | -1,06 | 147,3 | -71,84 |
| Ариэль | 13,9 | +2,94 | 239,1 | +19,96 |
| Краса мещеры | 11,4 | +0,44 | 190,2 | -28,94 |
| Среднее | 10,96 | - | 219,14 | - |

Сорт картофеля Ариэль показал наилучшую продуктивность миниклубней при выращивании в субстрате, поэтому для раскрытия его полного потенциала он же был заложен и в аэропонной установке. За период клубнеобразования (со второй декады марта по 2 декаду июня) было проведено 12 сборов миниклубней. Сроки сбора определялись в соответствии с ГОСТом и информацией из литературных источников. Основной целью явля-

лось не нарастить массу миниклубней, а раскрыть потенциал сорта к клубнеобразованию при данной технологии. Период нарастания миниклубней составил в опыте 7-18 дней. Время сбора определялось достижением клубней диаметра 10-15 мм. За вегетационный период в аэропонной установке сорт картофеля Ариэль сформировал 509 шт. миниклубней с общей массой 3399 г. (с 10 растений) (табл. 2).



Таблица 2 – Показатели продуктивности картофеля (миниклубней) сорта Ариэль при выращивании в аэропной установке

| Номер сбора | Показатели продуктивности | |
|-------------|-----------------------------------|---|
| | Масса клубней, г/с 10 растений | Количество клубней, шт./с 10 растений т. |
| 1 | 139,9 | 20 |
| 2 | 100,0 | 10 |
| 3 | 243,0 | 37 |
| 4 | 270,7 | 40 |
| 5 | 234,0 | 36 |
| 6 | 235,0 | 35 |
| 7 | 438,2 | 54 |
| 8 | 269,2 | 35 |
| 9 | 416,2 | 56 |
| 10 | 401,2 | 74 |
| 11 | 351,5 | 33 |
| 12 | 301,0 | 79 |
| Всего | 3399,0 | 509 |

Сравнительная характеристика продуктивности сорта картофеля Ариэль (мини клубней) при разных способах выращивания показала, что в аэропонике продолжительность вегетационного периода картофеля увеличилась в 2,3 раза. Количество миниклубней с одного растения (коэффициент размножения) увеличилось в 7,3 раза, масса – в 2,8 раза (табл.3).

Однако средняя масса одного клубня уменьшилась в 2,6 раза, уменьшился и средний диаметр – в 2,8 раза. Однако это не означает, что при аэропном способе вырастает большое количество мелких миниклубней. Это говорит о том, что параметры продуктивности семенного картофеля при данной технологии можно регулировать и вести сбор подходящих по размеру миниклубней.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика продуктивности сорта картофеля Ариэль (миниклубней) при разных способах выращивания

| Способ выращивания мини клубней | Продолжительность вегетационного периода, дни | Количество миниклубней с одного растения, шт/ коэффициент размножения | Масса миниклубней с одного растения, г | Средняя масса одного клубня, г | Средний диаметр клубней, мм |
|---------------------------------|---|---|--|--------------------------------|-----------------------------|
| Традиционный (в почвогрунте) | 78 | 6,95 | 119,55 | 17,20 | 31,5 |
| Аэропоника | 183 | 50,90 | 339,99 | 6,68 | 11,2 |
| НСР ₀₀₅ | | 0,48 | 1,55 | | |

Заключение

В настоящее время в условиях импортозамещения перед селекционерами и семеноводами поставлена задача наладить производство собственного посадочного/посевного материала, в том числе и картофеля. Аэропный способ может решить эту задачу в кратчайшие сроки. В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что безсубстратное выращивание оздоровленного посадочного материала картофеля является более эффективным по сравнению с субстратным. На аэропонике все показатели продуктивности картофеля (миниклубней) увеличились в несколько раз. За год можно осуществить два оборота. Этот способ является менее трудоемким, энергозатратным и позволяет полностью реализовать картофелю в благоприятных условиях свой биологический потенциал клубнеобразования. Аэропные установки могут быть изготовлены производителями семенного картофеля самостоятельно (адаптировано к помещению), так как рынок в современных условиях не насыщен

данном оборудованием или оно требует доработки. Совершенствование технологии выращивания в таких установках (продолжительность досвечивания и спектральный состав ламп, состав питательного раствора и его концентрация по фазам развития растений, время и продолжительность подачи раствора, подбор наиболее продуктивных и пластичных сортов и пр.) является актуальной задачей, и ее решение поможет наладить производство семенного картофеля в кратчайшие сроки в любом регионе Российской Федерации.

Список источников

- Басиев С. С., Шорин П. М., Дзгоев О. К. Выход миниклубней картофеля в зависимости от состава почвогрунта в условиях РСО-Алания // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. 2012. №6.
- Гериева Ф.Т. Основные оригинальных семян картофеля в горных условиях Северного Кавказа// Известия Горского государственного аграрного университета. 2014 Т. 51 №3. С. 29-33.
- ГОСТ Р 53136-2008. Картофель семенной. Технические условия. М.:Стандартинформ. 2010. 11 с.



4. Жевора С.В. Инновационная технология выращивания миниклубней картофеля в системе аэрогидропонии: учебное пособие/С.В. Жевора М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 84 с.
5. Латыпова А.Л. Особенности сортовой реакции растений картофеля на выращивание в искусственных условиях на аэропонных установках // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. №3. Ижевск, 2022 г. С. 12-19.
6. Мартиросян Ю.Ц. Кособрюхов А.А., Дилова-рова Т.А., Полякова М.Н. Аэропонные технологии в растениеводстве // Проблемы агробиотехнологии. М., 2012. С. 227-240.
7. Марухленко А.В. Ускоренное размножение оздоровленного картофеля с применением аэропонной технологии // Картофелеводство, материалы научно-практической конференции "Современное состояние и перспективы развития селекции и семеноводства картофеля". Москва, 2018. С. 202-208.
8. Методика исследований по культуре картофеля / Отд-ние растениеводства и селекции Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина. Науч.-исслед. ин-т картофельного хоз-ва. – Москва: Б. и., 1967. – 263 с.
9. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля / Российская акад. с.-х. наук, Всероссийский науч.-исслед. ин-т картофельного хоз-ва им. А. Г. Лорха; [подгот. Е. А. Симаковым, Н. П. Склярской и И. М. Яшиной]. – Москва: Достижения науки и техники АПК, 2006. – 70 с. – ISBN 5-902282-13-6. – EDN QKUCYN.
10. Терентьева Е.В., Ткаченко О.В. Аэропонный способ получения миниклубней картофеля // Известия ТСХА. 2017. Выпуск 1. С.75-84.
11. Технологический процесс производства оригинального, элитного репродукционного семенного картофеля. – М.: ФГБУ «Россельхозцентр», ГНУ ВНИИКС Россельхозакадемии, 2011 32 с.
12. Цема Л. Г. Получение миниклубней картофеля на аэропонных установках / Л. Г. Цема, А. Л. Латыпова, Т. С. Морозова // Достижения и перспективы развития АПК России: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной памяти Р.Г. Гареева, Казань, 30–31 марта 2023 года. – Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2023. С. 154-160.
13. Dong Chil Chang, Choun Soo Park, Sung Yeul Kim, Su Jeong Kim, Yong Beom Lee Physiological Growth Responses by Nutrient Interruption in Aeroponically Grown Potatoes // Am. J. Potato Association of America. 2008. 85. P. 315–323. DOI 10.1007/s12230-008-9024-4.
14. Farran Imma, Mingo-Castel Angel M. Potato minituber production using aeroponics: Effect of plant density and harvesting intervals // American Journal of Potato Research. 2006. V. 83(1). P. 47-53. DOI 10.1007/BF02869609.
15. Mateus-Rodriguez J.R., de Haan S., Andrade-Piedra J.L., Maldonado L., Hareau G., Barker I., Chuquillanqui C., Otazú V., Frisancho R., Bastos C., Pereira A.S., Medeiros C.A., Montesdeoca F., Benítez J. Technical and Economic Analysis of Aeroponics and other Systems for Potato Mini-Tuber Production in Latin America // American Journal of Potato Research. 2013. V. 90(4). P. 357-368. DOI: 10.1007/s12230-013-9312-5.
16. Mbiyu M.W., Muthoni J., Kabira J., Elmar G., Muchira C., Pwipwai P., Ngaruiya J., Otieno S. and Onditi J. Use of aeroponics technique for potato (*Solanum tuberosum*) minitubers production in Kenya // Journal of Horticulture and Forestry. 2012. V. 4 (11). P. 172-177. DOI: 10.5897/JHF12.012
17. Muthoni J. Mbiyu M. and Kabira J.N. Up-scaling production of certified potato seed tubers in Kenya: Potential of aeroponics technology // Journal of Horticulture and Forestry. 2011. V. 3(8). P. 238-243.
18. Novella M.B., Andriolo J.L., Bisognin D.A., Cogo C.M., Bandinelli M.G. Concentration of nutrient solution in the hydroponic production of potato minitubers // Ciência Rural, Santa Maria. 2008. 38(6). P.1529-1533. 82.
19. Ritter E., Angulo B., Riga P., Herrán C., Relloso J., San Jose M. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers // Potato Research. 2001. 44(2). P. 127-135. DOI: 10.1007/BF02410099.
20. Tierno R., Carrasco A., Ritter E., de Galarreta J.I.R. Differential Growth Response and Minituber Production of Three Potato Cultivars Under Aeroponics and Greenhouse Bed Culture // American Journal of Potato Research. 2014. 91(4). P. 346-353. DOI: 10.1007/s12230-013-9354-8.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Basiev S. S., Shorin P. M., Dzgoev O. K. Vыход миниклубней картофеля в зависимости от состава почвогрунта в условиях РСО-Аланиа // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. 2012. №6.
2. Gerieva F.T. Osnovnye originalnykh semyan kartofelya v gornykh usloviyakh Severnogo Kavkaza// Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014 T. 51 №3. S. 29-33.
3. GOST R 53136-2008. Kartofel semennoy. Tekhnicheskie usloviya. M.: Standartinform. 2010. 11 s.
4. Zhevora S.V. Innovatsionnaya tekhnologiya vyrashchivaniya miniklubney kartofelya v sisteme aerogidroponiki: uchebnoe posobie/S.V. Zhevora M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2018. 84 s.
5. Latypova A.L. Osobennosti sortovoy reaksii rasteniy kartofelya na vyrashchivanie v iskusstvennykh usloviyakh na aeroponnykh ustanovkakh // Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. №3. Izhevsk, 2022 g. S. 12-19.
6. Martirosyan Yu.Ts. Kosobryukhov A.A., Dilovarova T.A., Polyakova M.N. Aeroponnye tekhnologii v rastenievodstve // Problemy agrobiotekhnologii. M., 2012. S. 227-240.



7. Marukhlenko A.V. Uskorennoe razmnzhenie ozdorovlennogo kartofelya s primeneniem aeroponnoy tekhnologii // *Kartofelevodstvo, materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya selektsii i semenovodstva kartofelya"*. Moskva, 2018. S. 202-208.
8. Metodika issledovaniy po kulture kartofelya / Otd-nie rastenievodstva i selektsii Vsesoyuz. akad. s.-kh. nauk im. V.I. Lenina. Nauch.-issled. in-t kartofelnogo khoz-va. — Moskva : B. i., 1967. — 263 s.
9. Metodicheskie ukazaniya po tekhnologii selektsionnogo protsessa kartofelya / Rossiyskaya akad. s.-kh. nauk, Vserossiyskiy nauch.-issled. in-t kartofelnogo khoz-va im. A. G. Lorkha ; [podgot. E. A. Simakovym, N. P. Sklyarovoy i I. M. Yashinoy]. — Moskva : Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2006. — 70 s. — ISBN 5-902282-13-6. — EDN QKYCYN.
10. Terenteva E.V., Tkachenko O.V. Aeroponnyy sposob polucheniya miniklubney kartofelya // *Izvestiya TSKhA*. 2017. Vypusk 1. S.75-84.
11. Tekhnologicheskiiy protsess proizvodstva originalnogo, elitnogo reproduksionnogo semennogo kartofelya. — M.: FGBU «Rosselkhoztsentr», GNU VNIKKh Rosselkhozakademii, 2011 32 s.
12. Tsema L. G. Poluchenie miniklubney kartofelya na aeroponnykh ustanovkakh / L. G. Tsema, A. L. Latypova, T. S. Morozova // *Dostizheniya i perspektivy razvitiya APK Rossii : Materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy pamyati R.G. Gareeva*, Kazan, 30–31 marta 2023 goda. — Kazan: Akademiya nauk Respubliki Tatarstan, 2023. S. 154-160.
13. Dong Chil Chang, Choun Soo Park, Sung Yeul Kim, Su Jeong Kim, Yong Beom Lee Physiological Growth Responses by Nutrient Interruption in Aeroponically Grown Potatoes // *Am. J. Potato Association of America*. 2008. 85. P. 315–323. DOI 10.1007/s12230-008-9024-4.
14. Farran Imma, Mingo-Castel Angel M. Potato minituber production using aeroponics: Effect of plant density and harvesting intervals // *American Journal of Potato Research*. 2006. V. 83(1). P. 47-53. DOI 10.1007/BF02869609.
15. Mateus-Rodriguez J.R., de Haan S., Andrade-Piedra J.L., Maldonado L., Hareau G., Barker I., Chuquillanqui C., Otazú V., Frisnacho R., Bastos C., Pereira A.S., Medeiros C.A., Montesdeoca F., Benítez J. Technical and Economic Analysis of Aeroponics and other Systems for Potato Mini-Tuber Production in Latin America // *American Journal of Potato Research*. 2013. V. 90(4). P. 357-368. DOI: 10.1007/s12230-013-9312-5.
16. Mbiyu M.W., Muthoni J., Kabira J., Elmar G., Muchira C., Pwapiwai P., Ngaruiya J., Otieno S. and Onditi J. Use of aeroponics technique for potato (*Solanum tuberosum*) minitubers production in Kenya // *Journal of Horticulture and Forestry*. 2012. V. 4 (11). P. 172-177. DOI: 10.5897/JHF12.012
17. Muthoni J. Mbiyu M. and Kabira J.N. Up-scaling production of certified potato seed tubers in Kenya: Potential of aeroponics technology // *Journal of Horticulture and Forestry*. 2011. V. 3(8). P. 238-243.
18. Novella M.B., Andriolo J.L., Bisognin D.A., Cogo C.M., Bandinelli M.G. Concentration of nutrient solution in the hydroponic production of potato minitubers // *Ciência Rural, Santa Maria*. 2008. 38(6). P.1529-1533. 82.
19. Ritter E., Angulo B., Riga P., Herrán C., Rellosio J., San Jose M. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers // *Potato Research*. 2001. 44(2). P. 127-135. DOI: 10.1007/BF02410099.
20. Tierno R., Carrasco A., Ritter E., de Galarreta J.I.R. Differential Growth Response and Minituber Production of Three Potato Cultivars Under Aeroponics and Greenhouse Bed Culture // *American Journal of Potato Research*. 2014. 91(4). P. 346-353. DOI: 10.1007/s12230-013-9354-8.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Куликова Евгения Геннадьевна, канд. биол. наук, доцент кафедры «Селекция, семеноводство и биология растений», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, г. Пенза, kulikova.e.g@pgau.ru

Чугуров Роман Геннадьевич, аспирант, препод. кафедры «Селекция, семеноводство и биология растений», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, г. Пенза, chugurov.r.g@pgau.ru

Бирюков Илья Витальевич, магистр, ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, г. Пенза, ilia.biryuckoff@yandex.ru

Author Information

Kulikova Evgeniya G., Candidate of Biological Sciences, associate professor of the department «Plant breeding, seed breeding and plant biology», Penza State Agrarian University, Penza, kulikova.e.g@pgau.ru

Chugurov, Roman G., Postgraduate Student, teacher of the department «Plant breeding, seed breeding and plant biology» Penza State Agrarian University, Penza, chugurov.r.g@pgau.ru

Biryukov Ilya V., Master's Degree Student, Penza State Agrarian University, Penza, ilia.biryuckoff@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 14.11.2025; одобрена после рецензирования 11.12.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 14.11.2025; approved after reviewing 11.12.2025; accepted for publication 15.12.2025



СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК: 504.75
DOI: 10.36508/RSATU.2025.80.81.010

ПЕРВИЧНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО ОБЪЕКТА
БИОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Юрий Анатольевич Мажайский¹, Зоя Юрьевна Арганистова², Татьяна Михайловна Гусева³ ✉

¹ ФГБНУ ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Мещерский филиал, г. Рязань, Россия

² РУП «Институт рыбного хозяйства» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», г. Минск, Беларусь

³ ФГБОУ ВО Рязанский медицинский университет Минздрава России им. академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия

¹ director@mntc.pro

² zoya.arganistova@bk.ru

³ guseva.tm@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Проблемы сельскохозяйственной мелиорации напрямую затрагивают водную составляющую агроландшафтов. Качество воды традиционно оценивается по химическим и физическим характеристикам. Но существует проблема оптимальности мониторинга качества воды только по данным показателям, так как некоторые токсичные вещества остаются неучтенными, вследствие присутствия их в очень малых концентрациях, также невозможно получить данные о синергизме различных веществ. В статье представлены результаты исследования, целью которого являлась первичная оценка экологического состояния водного объекта, расположенного в зоне влияния земель сельскохозяйственного использования. Объект исследования - водный объект, находящийся на территории эко-полигона «Тушково», расположенного в Горьком районе, Могилевской области (Беларусь).

Результаты. Экспресс-оценка проводилась биологическим методом, с использованием в качестве биоиндикаторов общедоступных водных организмов, подразделённых на четыре группы. Результаты исследований позволили оценить видовое разнообразие водоёма и выявить факторы, оказывающие влияние на качество водной среды. В процессе первичного мониторинга установлено, что в изучаемом водном объекте обитают 7 видов гидромакрофитов, 4 вида представителей ихтиофауны, 4 вида моллюсков и 4 вида бентосных организмов. Несмотря на выявленное разнообразие видов водной экосистемы, указывающее на удовлетворительное экологическое состояние водного объекта, выявлены потенциально опасные источники негативного воздействия на гидрэкосистему: близкое расположение сельскохозяйственных угодий, поверхностный сток с полей, использование вод пруда для орошения.

Заключение. Результаты первичного биологического мониторинга позволяют на данном этапе охарактеризовать изучаемый водный объект как умеренно загрязнённый. Следовательно, для подобных водоёмов, необходима разработка комплексной стратегии управления, направленной на поддержание их удовлетворительного состояния и улучшение качества биологических показателей.

Ключевые слова: биологический метод оценки качества водоёмов, биоиндикаторы, первичная оценка экологического состояния водных объектов

Для цитирования: Мажайский Ю.А., Арганистова З.Ю., Гусева Т.М. Первичная оценка экологического состояния водного объекта биологическим методом // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.76-83 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.80.81.010>

Original article

PRIMARY ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF A WATER BODY
BY THE BIOLOGICAL METHOD

Yuri A. Mazhaisky¹, Zoya Yu. Arganistova², Tatiana M. Guseva³ ✉

© Мажайский Ю.А., Арганистова З.Ю., Гусева Т.М., 2025 г.



¹FSBIS FSC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, Meshchersky branch, Ryazan, Russia

²RUE "Institute of Fisheries" of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry", Minsk, Belarus

³FGBOU VO Ryazan Medical University of the Russian Ministry of Health named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia

¹director@mntc.pro

²zoya.arganistova@bk.ru

³guseva.tm@yandex.ru

Abstract.

Problem and goal. The problems of agricultural reclamation directly affect the water component of agro-landscapes. Water quality is traditionally assessed by chemical and physical characteristics. However, there is a problem of optimality of monitoring water quality only by these indicators, as some toxic substances remain unaccounted for due to their presence in very small concentrations, and it is also impossible to obtain data on the synergism of various substances. The article presents the results of a study aimed at the primary assessment of the ecological state of a water body located in the area of agricultural land. The object of research is a water body located on the territory of the Tushkovo eco-landfill, located in the Gorky district of the Mogilev region.

Results. The rapid assessment was carried out using a biological method, with the use of publicly available aquatic organisms divided into four groups as bioindicators. The research results allowed for the assessment of the species diversity of the water body and the identification of factors that affect the quality of the aquatic environment. During the initial monitoring, it was determined that the studied water body is inhabited by 7 species of hydrophytes, 4 species of ichthyofauna, 4 species of mollusks, and 4 species of benthic organisms. Despite the identified diversity of aquatic ecosystem species, which indicates a satisfactory ecological state of the water body, potentially dangerous sources of negative impact on the hydroecosystem have been identified: the proximity of agricultural land, surface runoff from fields, and the use of pond water for irrigation.

Conclusion. The results of the primary biological monitoring allow us to characterize the studied water body as moderately polluted at this stage. Therefore, it is necessary to develop an integrated management strategy for such water bodies aimed at maintaining their satisfactory condition and improving the quality of biological indicators.

Key words: biological method of water body quality assessment, bioindicators, primary assessment of the ecological state of water bodies

For citation: Mazhaysky Yu.A., Arganistova Z.Yu., Guseva T.M. Primary assessment of the ecological state of a water body using a biological method // Herald of the P.A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University. 2025, T.17, No. 4, P. 76-83 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.80.81.010>

Введение

Природная среда постоянно находится под негативным воздействием деятельности человека. Природа не в состоянии быстро справиться с постоянно растущей нагрузкой. Ухудшается качество воздуха, почвы и водных ресурсов. Поскольку вода является одним из важнейших жизненно необходимых компонентов, её качеству следует уделять внимание и не доводить водный объект до его непригодности. Одной из важнейших современных экологических проблем по-прежнему остается дефицит качественной воды. Проблема гидросферы – глобальная экологическая проблема современности.

Подавляющее количество водоисточников подвергается антропогенному воздействию разной степени интенсивности. Данная проблема актуальна как в глобальном масштабе, так и в рамках отдельно взятого региона или населенного пункта. Водные объекты отличаются значительной динамичностью и плотным взаимодействием с антропогенными факторами, в которых одним из основных является сельское хозяйство, являющееся активным водопотребителем. Проблемы сельскохозяйственной мелиорации напрямую затрагивают водоемы [1].

Уровень загрязнений поверхностных вод оце-

нивался, в основном, только по химическим и физическим показателям. Но возникла проблема оптимальности мониторинга качества воды по химическим показателям, так как некоторые токсичные вещества остаются неучтенными вследствие присутствия их в очень малых концентрациях; невозможно получить данные о синергизме различных веществ. В данной ситуации биологический мониторинг – наиболее адекватный путь оценки качества воды, использующий системы биосигнализации, основанные на изменении равновесия многочисленных и сложных взаимодействий между гидробионтами.

С целью контроля гидробиологических характеристик водных объектов в конце 20 века была создана служба, наблюдающая и контролирующая поверхностные воды. Результаты мониторинговых наблюдений – информационная основа, по которой может сверяться эффективность мероприятий, направленных на изменение ситуации в лучшую сторону. Только при оптимизации и восстановлении функционирования водных сообществ, подтвержденных результатами биомониторинга, можно говорить о полной реабилитации водных экосистем и об адекватности мероприятий, принимаемых для решения проблем гидросферы [2-4].

Биологический мониторинг – система на-



блюдений за состоянием водных биоресурсов, регламентированная методологическими нормативами, с целью получения информации о состоянии гидробиоценоза, констатации последствий воздействия антропогенных факторов на водную экосистему. Этот метод можно считать одним из оперативных и надежных, поскольку сама экосистема реагирует на изменения показателей среды составом и численностью гидробионтов.

Объект и методы исследования

Объект исследования – пруд «Безыманный», находящийся на территории эко-полигона «Тушково», расположенного в Горечком районе Могилевской области. Площадь пруда составляет 12,2 га, средняя глубина – 1,7 м, длина – 420 м, из-за неравномерного рельефа береговой линии пруда средняя ширина варьирует от 45 до 80 м. Береговая линия представлена лесополосой. Рельеф берега имеет извилистые изгибы, наблюдается наличие микрозаливов. Водный объект искусственного происхождения и имеет сбросное гидротехническое сооружение. Объект выступает в качестве источника воды для орошения земель, имеется насосная станция, с помощью которой осуществляется забор и подача воды на участки. Вблизи пруда расположены сельскохозяйственные земли, автомобильные дороги общего пользования, лесные насаждения, незначительная по величине жилая территория. Первичный оперативный экспресс-метод определения экологического состояния пруда – биологический метод определения качества воды, осуществлялся путем осмотра территории, определения видового состава растений, произрастающих по береговой линии пруда и в толще воды. Проведён отбор проб иловых отложений в трех метрах от берега пруда с целью оценки видового разнообразия бентосных организмов [5-7]. Исследования проводили в течение 2023 и 2024 годов. Первичная оценка экологического состояния пруда осуществлялась в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.4.02-90, ГОСТ Р 51592-2000 и ГОСТ Р 54091-2010. В качестве биоиндикаторов использовались представители макрофитов, бентоса и ихтиофауны, которые оценивали по методикам Вудивисса и Майера [8-10].

Результаты исследования

Взаимосвязь между сельскохозяйственной деятельностью и загрязнением водных объектов представляет собой одну из ключевых проблем современного природопользования. Антропогенное воздействие, обусловленное интенсивным использованием агроландшафтов, проявляется в ряде взаимосвязанных процессов, формирующих цепочку негативных экологических последствий: применение минеральных удобрений и пестицидов → формирование и поступление сточных вод и поверхностного стока → развитие процессов водной и ветровой эрозии почв → трансформация и деградация природных экосистем → снижение уровня биологического разнообразия.

Данная причинно-следственная последовательность указывает на необходимость внедрения устойчивых и экологически ориентированных методов ведения сельского хозяйства, а также эф-

фективных стратегий управления водными ресурсами. Только комплексный подход, включающий агроэкологическое планирование, мониторинг и восстановление нарушенных экосистем способен минимизировать риски загрязнения и сохранить функциональную устойчивость водных биотопов.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что изучаемый водный объект (пруд) преимущественно окружен землями сельскохозяйственного назначения, что обуславливает его высокую уязвимость и чувствительность к антропогенным нагрузкам. Основные факторы воздействия включают:

1.Смыв агрохимикатов. В период выпадения атмосферных осадков происходит формирование поверхностного стока, с которым в исследуемый водоем поступают остаточные количества минеральных удобрений и пестицидов. Эти соединения, попадая в водную среду, могут вызывать эвтрофикацию, токсическое воздействие на гидробионты и нарушение биохимического баланса.

2.Поступление почвенных частиц. Эрозионные процессы на прилегающих к пруду территориях, способствуют выносу мелкодисперсных фракций почвы, обогащенных органическим веществом и микроэлементами. Оседая в водоеме, они формируют донные отложения, ухудшают прозрачность воды, изменяют кислородный режим и создают условия для вторичного загрязнения.

3.Нарушение биологических связей. Загрязнение, обусловленное сельскохозяйственным стоком, оказывает деструктивное влияние на структуру и функционирование водных экосистем. Это проявляется в изменении видового состава, нарушении трофических цепей, снижении численности чувствительных видов и доминировании толерантных форм.

В рамках полевых исследований была проведена комплексная оценка состояния прибрежной зоны и водной толщи пруда. Пробы ила подвергались биоиндикационному анализу с использованием представителей четырех групп гидробионтов: водной макрофлоры, ихтиофауны, моллюсков и донных беспозвоночных (бентоса) (таблицы 1-4). Эти организмы выступают в качестве индикаторов экологического состояния водоема, отражая как текущее качество среды, так и кумулятивное воздействие загрязняющих факторов.

Идентифицированные высшие водные растения — рогоз, частуха, осока и сусак — являются типичными представителями прибрежно-водной растительности, произрастающей на заболачиваемых участках водоемов, медленнотекущих рек, берегов болот и каналов. Эти виды предпочитают илистые, органогенные субстраты, характеризующиеся высоким содержанием гумуса и доступных питательных веществ. Оптимальные условия для их произрастания включают слабоминерализованную воду с нейтральной или слабокислой реакцией среды (pH 6,5-7,5), а также устойчивый гидрологический режим с незначительными колебаниями уровня воды.

Плавающие формы, такие как ряска, распространены в стоячих и слабопроточных водоемах



с высоким содержанием органики и углекислого газа, что свидетельствует о высокой трофности и активных процессах разложения. Эти растения участвуют в круговороте веществ, затеняют водную поверхность и служат индикаторами эвтрофикации.

Многокоренник обыкновенный – укореняющийся подводный макрофит, предпочитает воды, обогащённые нитратами, фосфатами и калием. Его обильное развитие часто связано с поступлением агрохимикатов, указывая на нарушение биогенного баланса и усиление вторичной продуктивности. Роголистник – не укореняющийся гидромакрофит, устойчивый к широкому спектру условий. Он спо-



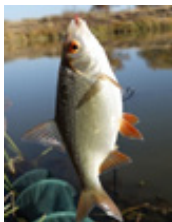

собен быстро накапливать биомассу и питательные вещества, выступая как индикатор экологических изменений и стабилизатор водной среды.

Совокупность выявленных видов свидетельствует о мезо- и эвтрофных условиях водоёма, наличии органического загрязнения и поступлении биогенных элементов, что требует дальнейшего мониторинга и оценки степени антропогенной трансформации экосистемы. Использование гидрофитной растительности в качестве биоиндикаторов позволяет не только оценить текущее состояние водной среды, но и прогнозировать её динамику при изменении внешних факторов.

Таблица 1 – Видовое разнообразие биоиндикаторов I группы пруда «Безымянный» эко-полигона «Тушково»

| № группы | Наименование группы | | | |
|----------|---|---|---|--|
| | Водная растительность | | | |
| I | Рогоз широколистный (<i>L. Typha latifolia</i>) | Частуха подорожниковая (<i>L. Alisma platagoaquatica</i>) | Осока озерная (<i>L. Carex lacustris</i>) | Сусак зонтичный (<i>L. Butomus umbellatus</i>) |
| |  |  |  |  |
| | Ряска малая (<i>L. Lemna minor</i>) | Многокоренник обыкновенный (<i>L. Spirodela olynthis</i>) | Роголистник погруженный (<i>L. Ceratophyllum demersum</i>) | |
| |  |  |  | |

Таблица 2 – Видовое разнообразие биоиндикаторов II группы пруда «Безымянный» эко-полигона «Тушково»

| № группы | Наименование группы | | | |
|----------|---|---|--|---|
| | Ихтиофауна | | | |
| II | Серебряный карась (<i>L. Carassius gibelio</i>) | Обыкновенный окунь (<i>L. Perca fluviatilis</i>) | Обыкновенная плотва (<i>L. Rutilus rutilus</i>) | Щука обыкновенная (озёрная) (<i>L. Esox lucius</i>) |
| |  |  |  |  |

Карповые виды рыб, такие как карась и плотва, характеризуются высокой экологической пластичностью и способностью адаптироваться к широкому спектру гидрологических и гидрохимических условий. Они предпочитают водоёмы с замедленным течением, илистым субстратом и развитой водной растительностью, которая обеспечивает укрытие, нерестилища и кормовую базу. Эти виды способны переносить длительные периоды кислородного дефицита, высокую температуру воды и колебания pH, что делает их типичными представителями эвритопных организмов. Их присутствие в водоёме может свидетельствовать о его устойчивости к умеренному антропогенному воздействию и наличии условий, благоприятных для развития макрофитной растительности.

Окунь демонстрирует широкую географическую и экологическую распространённость, встречаясь как в пресных, так и в слабосоленых водоёмах, включая реки, озёра и морские заливы. Он предпочитает умеренно заросшие участки с переменным течением и достаточным содержанием кислорода. Благодаря своей хищной стратегии пи-

тания, окунь играет важную роль в регулировании численности мелких рыб и беспозвоночных, влияя на структуру трофических цепей.

Щука — типичный хищник пресноводных экосистем, обитающий преимущественно в водоёмах с обильной водной растительностью, слабым течением и хорошей кормовой базой. Она способна выживать в условиях пониженной кислотности (до pH 4,7) и при минимальной концентрации растворённого кислорода не ниже 3,0 мг/л, что свидетельствует о её адаптивных возможностях. Щука чувствительна к резким изменениям гидрохимических параметров и может служить индикатором стабильности водной среды.

Совокупность выявленных видов ихтиофауны указывает на наличие в водоёме условий, характерных для мезо- и эвтрофных экосистем, с умеренным уровнем загрязнения и достаточной продуктивностью. Ихтиологический анализ позволяет оценить не только текущее состояние водной экосистемы, но и её устойчивость к внешним воздействиям, а также потенциал для восстановления при снижении антропогенной нагрузки [11].

Таблица 3 – Видовое разнообразие биоиндикаторов III группы пруда «Безымянный» эко-полигона «Тушково»

| № группы | Наименование группы | | | |
|----------|---|---|--|---|
| | Моллюски | | | |
| III | Прудовик обыкновенный (<i>L. Lymnaea stagnalis</i>) | Прудовик малый (<i>L. Lymnaea truncatula</i>) | Катушка рогатая <i>Planorbis</i> <i>corneus</i>) | Катушка скрученная (<i>L. Planorbis contortus</i>) |
| |  |  |  |  |

Основным местом обитания представителей данной группы являются медленнотекущие или стоячие водоёмы, характеризующиеся развитой прибрежно-водной и болотистой растительностью, а также значительным накоплением органических остатков. Такие условия способствуют формированию специфических микробиоценозов и создают благоприятную среду для обитания и размножения гидробионтов, толерантных к пониженному содержанию кислорода и колебаниям температуры.

Представители данной группы предпочитают водоёмы с умеренной жёсткостью воды, что указывает на их адаптацию к средам с относительно стабильным минеральным составом. Наличие органических остатков в донных отложениях способствует развитию сапробных процессов, что, в свою очередь, влияет на структуру и численность донных сообществ. Такие условия характерны для мезо- и эвтрофных экосистем, подверженных антропогенному воздействию, в том числе поступлению биогенных

веществ с сельскохозяйственных территорий.

Присутствие этих организмов может служить индикатором экологического состояния водоёма, отражая степень его трансформации и уровень трофности. Их устойчивость к неблагоприятным факторам делает их важными объектами для биомониторинга и оценки динамики водных экосистем в условиях изменяющейся антропогенной нагрузки.

Подёнки (отряд Ephemeroptera) преимущественно обитают в быстротекущих реках и ручьях с высоким содержанием растворённого кислорода, однако могут встречаться и в водоёмах со слабым течением при условии достаточной чистоты воды. Их наличие указывает на олиготрофные или мезотрофные условия и служит надёжным индикатором хорошего экологического состояния водной среды.

Стрекозы (отряд Odonata), благодаря высокой экологической пластичности, встречаются практически во всех типах водоёмов, включая стоячие и слабопроточные, при наличии богатой кормовой



базы и развитой прибрежной растительности. Их личинки устойчивы к умеренному загрязнению и могут указывать на переходные стадии трофности. Личинки комара-звонца (Chironomidae) и мотыля (Tendipedidae) предпочитают водоёмы с заиленным дном, низкой проточностью или стоя-

чие воды, часто с пониженным содержанием кислорода. Их массовое развитие свидетельствует о высоком уровне органического загрязнения и эвтрофикации, особенно в условиях поступления биогенных веществ.

Таблица 4 – Видовое разнообразие биоиндикаторов IV группы пруда «Безымянный» эко-полигона «Тушково»

| № группы | Наименование группы | | | |
|----------|---|---|--|---|
| | Бентосные организмы | | | |
| IV | Поденки (L. Ephemeroptera) | Стрекоза (личинки стрекоз) (L. Odonata) | Личинки комара звонца (L.Chironomus) | Мотыль (личинки комаров семей- ства Chironomidae или Tendipedidae) |
| |  |  |  |  |

Таким образом, экспресс-оценка экологического состояния водоёма с использованием комплекса биоиндикаторов позволила выявить разнообразие гидробионтов, отражающее широкий спектр экологических ниш – от олиготрофных до эвтрофных. Наличие как чувствительных, так и толерантных видов указывает на смешанный ха-

рактер водоёма, подверженного умеренному антропогенному воздействию. Полученные данные подтверждают целесообразность применения биоиндикационного подхода для комплексной оценки качества водной среды и выявления направлений её возможной деградации или восстановления (табл. 5).

Таблица 5 – Видовое разнообразие гидробионтов – биоиндикаторов пруда «Безымянный» эко-полигона «Тушково»

| № группы | Наименование группы гидробионтов - биоиндикаторов | Количество видов |
|----------|--|------------------|
| I | Водная растительность - гидромакрофиты | 7 |
| II | Ихтиофауна | 4 |
| III | Моллюски | 4 |
| IV | Бентосные организмы | 4 |

Анализ полученных в результате первичного биологического мониторинга данных показал, что обнаруженные индикаторные группы гидробионтов отдают предпочтение местам обитания со значительным уровнем эвтрофикации воды, с малым течением или полностью стоячие воды с большим количеством органического вещества и илистым дном. Обильный рост водорослей создает в изучаемом водоеме условия для развития кормовой базы ихтиофауны, представленной как растительноядными, так и хищными видами рыб.

Видовое разнообразие моллюсков невелико, и их предпочтения по отношению к среде обитания – это болотистая местность. Однако в процессе мониторинга выявлен прудовик обыкновенный, местообитание которого характеризуется чистой водой. Среди бентосных организмов, более тяготеющих к болотистой среде обитания, присутствует и такой представитель, как подёнка, известная

как основной обитатель рек и ручьев. Также и в видовом разнообразии ихтиофауны водоема присутствуют виды рыб, предпочитающие чистые воды (щука), что может свидетельствовать о допустимом пределе антропогенного загрязнения, поступающего с прилегающей территории пруда, при котором могут существовать гидробионты.

Полученные данные служат основой для последующего экологического картирования, оценки степени трансформации водной экосистемы и разработки рекомендаций по её восстановлению и охране.

Проведенное рекогносцировочное исследование позволило установить, что водоём функционирует как приёмник диффузного загрязнения, поступающего с прилегающих сельскохозяйственных территорий, что делает его своеобразным индикатором экологического состояния агроландшафта. Накопление загрязняющих веществ



в донных отложениях и биоте может приводить к долговременным изменениям в структуре водной экосистемы, включая снижение численности чувствительных видов и увеличение доли эвритолерантных организмов. Кроме того, нарушение гидрохимического баланса и биологических связей в водоёме может оказывать обратное воздействие на прилегающие территории, снижая их хозяйственную и рекреационную ценность. Проведённый биоиндикационный анализ не только зафиксировал текущее состояние водной среды, но и является основой для разработки адаптивных мер по снижению антропогенной нагрузки и восстановлению экологического равновесия.

Заключение

Биологический экспресс-метод оценки экологического состояния водных объектов является важным элементом в сельскохозяйственных эколого-биологических исследованиях. Этот метод позволяет оперативно, без дополнительных затрат, используя только наблюдение получить первичную информацию о состоянии водной экосистемы, определить источники и степень антропогенного воздействия, а также сформулировать общие рекомендации по регулированию водопользования или устранению потенциально опасных антропогенных факторов.

Проведенная первичная оценка экологического состояния водоема биологическим методом позволила выявить ряд факторов, которые оказывают влияние на качество водной среды и, как следствие, его видовое разнообразие. Несмотря на наличие положительных результатов проведенного мониторинга: отсутствие прямого сброса загрязнений в воду, установление факта многообразия видов водной экосистемы, указывающих на удовлетворительное экологическое состояние изучаемого водного объекта, были выявлены потенциально опасные источники негативного воздействия на гидросистему: близкое расположение сельскохозяйственных угодий, поверхностный сток с полей, использование вод пруда для орошения. Обобщая полученные в ходе первичного биологического мониторинга данные, изучаемый водный объект на данном этапе возможно охарактеризовать как умеренно загрязненный. Рекомендуются разработать комплексную стратегию управления данным водным ресурсом, направленную на его защиту, поддержание удовлетворительного состояния и улучшение качества биологических показателей.

Список источников

1. Бражников, М.М. Оценка загрязненности водных ресурсов / М.М. Бражников, И.И. Кирвель, А.С. Калинович. – Минск: БГУИР, 2009 - 24 с. URL: https://libelddoc.bsuir.by/bitstream/123456789/2219/1/Brazhnikov_Ocenka.pdf

libelddoc.bsuir.by/bitstream/123456789/2219/1/Brazhnikov_Ocenka.pdf

2. Измайлова, Н.Л. Биотестирование и биоиндикация состояния водных объектов / Н.Л. Измайлова, О.А. Ляшенко, И.В. Антонов. - СПб., 2014 – 52 с. URL: <https://nizrp.narod.ru/metod/kafoxrkrsr/4.pdf?yscli>.

3. Данилов-Данильян, В.И. Оценка современных подходов к управлению качеством поверхностных вод и их охране / В.И. Данилов-Данильян, Е.В. Веницианов, Г.В. Аджиенко, М.А. Козлова // Вестн. РАН. – 2019 - Т. 89 - № 12 - С. 1248–1259. URL: <http://library.volnc.ru/article/view?id=113880>.

4. Румянцев, В.А. Водные ресурсы рек и водоемов России и антропогенные воздействия на них / В.А. Румянцев, Н.И. Коронкевич, А.В. Измайлова, А.Г. Георгиади, И.С. Зайцева, Е. А. Барабанова, В.Г. Драбкова, Н.Ю. Корнеевкова // Известия РАН. Серия географическая. – 2021 - Т. 85 - № 1 – С. 120-135. URL: <https://izvestia.igras.ru/jour/article/view/1291>.

5. Шайхутдинова, А.А., Экологические методы оценки качества водоемов с помощью гидробионтов / А.А. Шайхутдинова. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 95 с. URL: http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/12952/1/116134_20200113.pdf

6. Павлюк, Т.Е. Актуальные вопросы биоиндикации водных экосистем: российский опыт и перспективы / Т.Е. Павлюк // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2024 - № 4 - С. 108–126. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-voprosy-bioindikatsii-vodnyh-ekosistem-rossiyskiy-opyt-i-perspektivy>

7. Потиевская, Н. А. Оценка качества вод верховьев р. Мзымта по характеристикам макрозообентоса / Н.А. Потиевская, Т.Л. Горбунова, Н.В. Зуева // Географическая среда и живые системы. – 2022 - № 2 - С. 25–37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-vod-verhoviev-reki-mzymta-po-harakteristikam-makrozoobentosa>

8. ГОСТ 17.1.4.02–90. Охрана природы. Гидросфера. Индикаторы состояния и загрязнения. Гидробиологические (биотические) показатели. Общие требования. — Введ. 1991-01-01. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 7 с.

9. ГОСТ Р 51592–2000. Вода. Общие требования к отбору проб. — Введ. 2001-01-01. — М.: Госстандарт России, 2000. — 7 с.

10. ГОСТ 54091–2010. Вода. Отбор проб донных отложений. Общие требования. — Введ. 2011-01-01. — М.: Стандартинформ, 2011. — 10 с.

11. Костоусов, В. Г. Ихтиология: учебное пособие / В. Г. Костоусов. — Минск: БГУ, 2018. — 183 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/180408>

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Brazhnikov, M.M. Otsenka zagryaznennosti vodnykh resursov / M.M. Brazhnikov, I.I. Kirvel, A.S. Kalinovich. – Minsk: BGUIR, 2009 - 24 s. URL: https://libelddoc.bsuir.by/bitstream/123456789/2219/1/Brazhnikov_Ocenka.pdf



2. Izmaylova, N.L. Biotestirovanie i bioindikatsiya sostoyaniya vodnykh obektov / N.L. Izmaylova, O.A. Lyashenko, I.V. Antonov. - SPb., 2014 – 52 s. URL: <https://nizrp.narod.ru/metod/kafoxroksr/4.pdf?yscli>.
3. Danilov-Danilyan, V.I. Otsenka sovremennykh podkhodov k upravleniyu kachestvom poverkhnostnykh vod i ikh okhrane / V.I. Danilov-Danilyan, E.V. Venitsianov, G.V. Adzhienko, M.A. Kozlova // Vestn. RAN. – 2019 - T. 89 - № 12 - S. 1248–1259. URL: <http://library.volnc.ru/article/view?id=113880>.
4. Rumyantsev, V.A. Vodnye resursy rek i vodoemov Rossii i antropogennye vozdeystviya na nikh / V.A. Rumyantsev, N.I. Koronkevich, A.V. Izmaylova, A.G. Georgiadi, I.S. Zaytseva, E. A. Barabanova, V.G. Drabkova, N.Yu. Korneenkova // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. – 2021 - T. 85 - № 1 – S. 120-135. URL: <https://izvestia.igras.ru/jour/article/view/1291>.
5. Shaykhutdinova, A.A., Ekologicheskie metody otsenki kachestva vodoemov s pomoshchyu gidrobiontov / A.A. Shaykhutdinova. – Orenburg: OGU, 2019. – 95 s. URL: http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/12952/1/116134_20200113.pdf
6. Pavlyuk, T.E. Aktualnye voprosy bioindikatsii vodnykh ekosistem: rossiyskiy opyt i perspektivy/ T.E. Pavlyuk // Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. – 2024 - № 4 - S. 108–126. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-voprosy-bioindikatsii-vodnyh-ekosistem-rossiyskiy-opyt-i-perspektivy>
7. Potievskaya, N. A. Otsenka kachestva vod verkhov'ev r. Mzymta po kharakteristikam makrozoobentosa / N.A. Potievskaya, T.L. Gorbunova, N.V. Zueva // Geograficheskaya sreda i zhivye sistemy. – 2022 - № 2 - S. 25–37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-vod-verhov'ev-reki-mzymta-po-kharakteristikam-makrozoobentosa>
8. GOST 17.1.4.02–90. Okhrana prirody. Gidrosfera. Indikatory sostoyaniya i zagryazneniya. Gidrobiologicheskie (bioticheskie) pokazateli. Obshchie trebovaniya. — Vved. 1991-01-01. — M.: Izd-vo standartov, 1990. — 7 s.
9. GOST R 51592–2000. Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob. — Vved. 2001-01-01. — M.: Gosstandart Rossii, 2000. — 7 s.
10. GOST 54091–2010. Voda. Otbor prob donnykh otlozheniy. Obshchie trebovaniya. — Vved. 2011-01-01. — M.: Standartinform, 2011. — 10 s.
11. Kostousov, V. G. Ikhtologiya: uchebnoe posobie / V. G. Kostousov. — Minsk: BGU, 2018. — 183 s. URL: <https://e.lanbook.com/book/180408>

Contribution of the authors:

All authors contributed equivalently to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Мажайский Юрий Анатольевич, д-р с.-х. наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, ФГБНУ ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Мещерский филиал, Рязань, Россия, director@mntc.pro

Арганистова Зоя Юрьевна, научный сотрудник РУП «Институт рыбного хозяйства» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», Минск, Беларусь, zoya.arginistova@bk.ru

Гусева Татьяна Михайловна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры микробиологии, ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет Минздрава России им. академика И.П. Павлова, guseva.tm@yandex.ru

Author Information

Mazhayskiy Yuriy A., Dr. of Agr. Sci., Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, FSBSI FSC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, Meshchersky branch, Ryazan, Russia, director@mntc.pro

Arganistova Zoya Yu., Researcher of RUE “Institute of Fisheries” of the Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry”, Minsk, Belarus, zoya.arginistova@bk.ru

Guseva Tatyana M., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ministry of Health of the Russian Federation, guseva.tm@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 5.11.2025; одобрена после рецензирования 4.12.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 5.11.2025; approved after reviewing 4.12.2025; accepted for publication 15.12.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №4, с. 84-93
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №4, pp.84-93

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.2.034/612.11:612.12
DOI: 10.36508/RSATU.2025.29.74.011

БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС КРОВИ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КЛИНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Галина Викторовна Уливанова¹✉, Ирина Валерьевна Щербакова², Ольга Александровна Карелина³, Ольга Александровна Федосова⁴, Кирилл Игоревич Романов⁵

^{1,2,3,4,5}Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

¹ darinelle@mail.ru

² irina.bochkowa@yandex.ru

³ olg90945056@yandex.ru

⁴ fedosowa1986@mail.ru

⁵ kirill.romanov1993@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Целью настоящего исследования было оценить биохимический статус и состояние белково-минерального обмена в крови у молодняка крупного рогатого скота в современных условиях высокоинтенсивной технологии их хозяйственного использования.

Методология. Научно-хозяйственный опыт выполняли в условиях крупного молочного комплекса на поголовье голштинского крупного рогатого скота. Объектом исследования были телята голштинской породы, которые подбирались в группы по принципу аналогов с учетом происхождения, возраста, живой массы. Подбор животных в группы проводился по данным документов первичного зоотехнического и племенного учета с использованием программы «ПЛИНОР» – АРМ «СЕЛЭКС». В зависимости от клинического состояния телят были сформированы 3 группы: 1 группа – клинически здоровые телята (контроль), 2 группа – телята с заболеванием желудочно-кишечного тракта (простая диспепсия), 3 группа – телята с заболеванием дыхательной системы (ринит). Для изучения физиолого-биохимических изменений в организме телят в сформированных группах проводили лабораторные исследования цельной крови и отдельных ее компонентов в условиях ветеринарной лаборатории «ГОРВЕТЛАБ» (ООО «ГОРВЕТЛАБ») г. Москва, РФ.

Результаты. В результате исследования, направленного на изучение особенностей биохимического статуса и состояния белково-минерального обмена в крови у молодняка крупного рогатого скота установлено значительное снижение содержания альбуминов в крови у телят с патологией ЖКТ, а также глобулинов в крови у телят с заболеваниями органов дыхания – на 17,27 %. Количество ГГТ было выше нормы, максимальные значения регистрировали у телят с болезнями ЖКТ – на 4,23 % выше, чем у здоровых животных. У животных с заболеваниями органов дыхания активность АСаТ была ниже, чем у здоровых на 23,98 %, а АЛат, наоборот, выше на 21,91 %. При заболеваниях ЖКТ, наоборот, снизилось количество АЛат на 10,67 % по сравнению с контролем. Независимо от этиологии произошло снижение активности ЩФ в крови больных телят. В крови животных с заболеваниями ЖКТ показатель прямого билирубина был достоверно выше ($p < 0,05$), чем у здоровых животных на 5,8 %. Достоверное повышение содержания натрия ($p < 0,05$) и ионизированного кальция ($p < 0,05$) было обнаружено по группе телят с респираторными заболеваниями, в крови телят с болезнями ЖКТ было достоверно выше ($p < 0,01$) содержание калия, ниже – содержание фосфора ($p < 0,05$).

Заключение. Результаты исследования позволили расширить спектр основных оцениваемых показателей-маркеров крови, на которые необходимо ориентироваться с целью оценки физиологического состояния и рациональности проводимых коррекционных зооветеринарных мероприятий при



выращивании молодняка крупного рогатого скота в условиях высокой интенсификации современного животноводства.

Ключевые слова: телята, биохимические показатели крови, клинический статус

Для цитирования: Уливанова Г.В., Щербаклова И.В., Карелина О.А., Федосова О.А., Романов К.И. Биохимический статус крови молодняка крупного рогатого скота в зависимости от клинического состояния // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.84-93 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.29.74.011>

Original article

BIOCHEMICAL STATUS OF BLOOD OF YOUNG CATTLE OF DIFFERENT CLINICAL CONDITIONS

G.V. Ulivanova¹ ✉, I.V. Shcherbakova², O.A. Karelina³, O.A. Fedosova⁴, K.I. Romanov⁵

^{1,2,3,4,5} Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

¹ darinelle@mail.ru

² i.rina.bochkowa@yandex.ru

³ olg90945056@yandex.ru

⁴ fedosowa1986@mail.ru

⁵ kirill.romanov1993@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. The objective of this study was to evaluate the biochemical status and protein-mineral metabolism in the blood of young cattle under modern conditions of high-intensity farming technology.

Methodology. A scientific and farming experiment was conducted on a large dairy farm using Holstein cattle. The study subjects were Holstein calves, which were selected into groups based on similarities based on origin, age, and live weight. Animals were selected into groups based on primary zootechnical and breeding records using the PLINOR – ARM SELEX software. Depending on the clinical condition of the calves, three groups were formed: group 1 – clinically healthy calves (control), group 2 – calves with gastrointestinal disease (simple dyspepsia), and group 3 – calves with respiratory disease (rhinitis). To study physiological and biochemical changes in the bodies of calves in the established groups, laboratory tests of whole blood and its individual components were conducted at the GORVETLAB veterinary laboratory (GORVETLAB LLC) in Moscow, Russia.

Results. The study aimed at examining the biochemical status and protein-mineral metabolism in the blood of young cattle revealed a significant decrease in blood albumin levels in calves with gastrointestinal pathology, as well as blood globulins in calves with respiratory diseases (by 17,27 %). GGT levels were higher than normal, with maximum values recorded in calves with gastrointestinal diseases – 4,23 % higher than in healthy animals. In animals with respiratory diseases, AST activity was 23.98% lower than in healthy animals, while ALT activity was 21,91 % higher. In contrast, in calves with gastrointestinal diseases, ALT levels decreased by 10,67 % compared to the control group. Regardless of the etiology, there was a decrease in alkaline phosphatase activity in the blood of sick calves. In the blood of animals with gastrointestinal diseases, direct bilirubin levels were significantly higher ($p<0,05$) than in healthy animals by 5,8 %. A significant increase in sodium ($p<0,05$) and ionized calcium ($p<0,05$) levels was found in the group of calves with respiratory diseases. In the blood of calves with gastrointestinal diseases, potassium levels were significantly higher ($p<0,01$) and phosphorus levels were lower ($p<0,05$).

Conclusion. The results of the study allowed us to expand the range of key blood markers assessed, which should be used to assess the physiological state and the rationale for corrective veterinary measures taken when raising young cattle in the highly intensified conditions of modern animal husbandry.

Key words: calves, blood biochemical parameters, clinical status

For citation: Ulivanova G. V., Shcherbakova I. V., Karelina O. A., Fedosova O. A., Romanov K. I. Biochemical status of blood of young cattle of different clinical conditions // Herald of Ryazan State Agrotechnical University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 4, P. 84-93 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.29.74.011>

Введение

Интенсификация производства сельскохозяйственной продукции в условиях непрекращающегося санкционного давления неизбежно приводит к возникновению целого ряда проблем, которые невозможно решить без внедрения в производственные процессы новейших научных разработок. Сближение науки и практики животноводства

– это реальный способ сохранения и поддержания производственной безопасности страны.

Одной из значительных проблем сельского хозяйства является оптимизация кормления в условиях интенсивного ведения отрасли животноводства при сохранении нормального физиологического состояния и поддержании высокой продуктивности скота. Данная задача является



интегральной, то есть требует комплексного подхода к ее решению.

Во-первых, следует понимать, что интенсификация и роботизация производственных процессов оказывают огромное негативное воздействие на организм животных, иммунная система которых подвергается мощному стрессу, что снижает адаптивный потенциал животного, вызывая развитие иммунодефицитов различной этиологии.

Во-вторых, высокая продуктивность коров – это не только влияние генетических факторов, но и правильная организация выращивания ремонтного молодняка, начиная с первых дней жизни. Поддержание биохимического статуса в неонатальный период не только является основой сохранения жизнеспособного приплода, но и залогом дальнейшего долголетия и высокой продуктивности коровы.

В-третьих, проблема оценки и управления биохимическим статусом животного нерешаема без глубокого понимания взаимосвязи показателей, характеризующих состояние иммунитета, с уровнем проявления белкового и минерально-витаминного метаболизма.

Вопросами изучения белкового и минерально-витаминного обмена веществ в организме сельскохозяйственных животных занималась целая плеяда ученых и практиков [1, 2, 3,]. Обеспечение полноценного белкового питания и введение минеральных веществ в рационы как молодняка крупного рогатого скота, так и полновозрастных животных прочно вошло в практику ведения животноводства [1, 3, 4].

Тем не менее, до сих пор проблематика белкового и минерально-витаминного обмена веществ не теряет своей актуальности.

Классические работы, посвященные данной тематике, на результаты которых ссылались поколения ученых, постепенно теряют свою актуальность в связи с новыми открытиями и внедрением современных методик оценки основных параметров обмена веществ, позволяющих проникнуть на клеточный и субклеточный уровень с целью изучения глубинных процессов метаболизма, происходящих в организме животных.

Так, классическое определение таких показателей как «сырой протеин» и «переваримый протеин» на современном этапе развития науки и практики считается недостаточным. Внимание ученых все больше сдвигается от простого количественного определения совокупности азотсодержащих веществ как в кормах, так и в организме животных, на определение качественного состава протеина, то есть аминокислотного состава. Особенно важно это в случае жвачных, так как доказано, что именно для данной группы животных белковый обмен веществ по сути дела является именно аминокислотным обменом [5, 6].

Кроме того, доказана эффективность изучения количественных показателей, характеризующих микробный синтез белка в преджелудках жвачных, степень усвоения и использования кормового и микроб-

ного белка, содержащихся в них аминокислот [5].

Клиническая биохимия крупного рогатого скота предлагает для оценки биохимического статуса более тридцати показателей, в состав которых входят белковые фракции, ферменты, гормоны, электролиты и т.д. Каждый из этих параметров выполняет свою, несомненно, важную функцию в поддержании оптимального состояния метаболических процессов [7].

Так, оценке возрастной динамики состояния обмена веществ в организме телят посвящены работы Корякиной Л.П., Борисова Н.И. Ученые в своей статье сообщили о том, что они выявили достоверное повышение основных показателей, характеризующих биохимический статус (общий белок, альбумины, мочевины, а также активность ферментов АЛат, АСаТ, ЩФ и др.) у телят к концу молозивного периода по сравнению с новорожденными животными. По мнению авторов, это объясняется увеличением интенсивности обмена веществ к концу фазы новорожденности [8].

Анализируя классическую литературу, посвященную нормированию питательных веществ в рационах сельскохозяйственных животных, можно заметить, что, несмотря на доказанную физиологическую необходимость введения в рацион макро- и микроэлементов, а также витаминов, нормирование отдельных веществ с несомненной важностью для организма животных в этих трудах не предусмотрено. Так, в классическом труде А.П. Калашникова «Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных» не указаны потребности в натрии и хлоре для крупного рогатого скота и предлагается нормировать данные показатели путем определения нормативов дачи поваренной соли [9]. Такая ситуация не позволяет оценить как содержание этих веществ в кормах, так и использовать эти данные для определения нормативов при интегральной оценке соотношения веществ в рационе.

Все это свидетельствует о том, что вопросы поиска и оценки биомаркеров для последующего управления иммунным статусом организма, а также корректировки метаболических процессов требуют внимательного рассмотрения и дальнейших исследований.

Цель исследований – оценка биохимического статуса и состояния белково-минерального обмена в крови у молодняка крупного рогатого скота.

Задачи:

1. Изучить показатели, характеризующие динамику белково-минерального обмена в крови у молодняка крупного рогатого скота.
2. Провести сравнительный анализ биохимического статуса животных разного клинического состояния.
3. Выявить биомаркеры изменения физиологического состояния животных.

Материалы и методы исследования

Исследования были проведены в ветеринарной лаборатории «ГОРВЕТЛАБ» (ООО «ГОРВЕТЛАБ») г. Москва, РФ, а экспериментально-хозяйственная часть – на базе крупного животноводческого пред-



приятия ООО «АПК «Русь» Рыбновского района Рязанской области в период июль-ноябрь 2025 года.

Объектом исследования были телята голштинской породы, которые подбирались в группы по принципу аналогов с учетом происхождения, возраста, живой массы. Подбор животных в группы проводился по данным документов первичного зоотехнического и племенного учета с использованием программы «ПЛИНОР» – АРМ «СЕЛЭКС».

В зависимости от клинического состояния телят были сформированы 3 группы: 1 группа – клинически здоровые телята (контроль), 2 группа – телята с заболеванием желудочно-кишечного тракта (простая диспепсия), 3 группа – телята с заболеванием дыхательной системы (ринит) (рис. 1).



Рис. 1 – Схема проведения исследований
Fig. 1 – Research scheme

Для исследования использовали данные статистической отчетности и первичной документации базового хозяйства.

В ходе исследования был проведен анализ показателей крови с целью установления изменений уровня белково-минерального обмена у телят неонатального периода в зависимости от их физиологического статуса. В расширенный биохимический анализ крови входили следующие параметры:

- показатели белкового обмена: общий белок, альбумины, глобулины, соотношение альбумин/глобулин, мочева кислота, билирубин общий, билирубин прямой, мочевины, креатинин;
- ферменты (АСаТ, АЛаТ, ГГТ, щелочная фосфатаза, коэффициент Ритиса);
- показатели водно-электролитного и минерального обменов: осмолярность, содержание

минеральных веществ (Ca, P, K, Na, Fe, Mg, Cl), определение концентрации водородных ионов в крови (рН).

Биохимический анализ проводили методом спектрофотометрии на автоматическом биохимическом анализаторе BioELAB AS-480 с использованием реагентов в условиях ветеринарной лаборатории «ГОРВЕТЛАБ» (рис. 2).



Рис. 2 – Автоматический биохимический анализатор BioELAB AS- 480»

Fig. 2 – Automatic biochemical analyzer BioELAB AS- 480

Результаты исследований и их обсуждение

Одним из актуальных вопросов на сегодняшний день является углубленное изучение биохимического статуса животных, то есть комплекса показателей, являющихся биомаркерами состояния метаболических процессов в организме сельскохозяйственных животных.

Для оценки биохимического статуса животных классическая биохимия предлагает комплекс показателей, включающих общий белок и белковые фракции, ферменты, гормоны, электролиты и т.д. Использование этих параметров как биомаркеров обусловлено их ролью в регулировании метаболизма животных.

Так, определение общего белка в крови может быть маркером белковой недостаточности, при которой снижается интенсивность роста молодняка крупного рогатого скота.

Некоторые показатели, характеризующие обмен белков в организме телят, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание белка и его фракций в крови телят, (n=10)

| Показатель | Группа | | |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Здоровые (контроль) | Заболевания ЖКТ (простая диспепсия) | Заболевания органов дыхания (ринит) |
| Общий белок, г/л | 76,3±7,09 | 75,9±9,65 | 71,6±10,4 |
| Альбумины, г/л | 46,2±1,14 | 44,8±3,91 | 46,7±2,21 |
| Глобулины, г/л | 30,1±7,48 | 31,1±8,40 | 24,9±10,45 |
| Соотношение альбумины/глобулины | 1,65±0,55 | 1,55±0,47 | 2,26±1,13 |



Количество общего белка в крови всех животных находилось в пределах верхней границы физиологической нормы (60–80 г/л). Однако, в группе телят с респираторными заболеваниями данный показатель был ниже, чем у здоровых на 6,15 %, в то время как разница между здоровыми и телятами с заболеваниями ЖКТ была менее 1 %.

Содержание альбуминов в крови у телят с болезнями органов дыхания находилось на одном уровне со здоровыми животными, а у телят с патологией ЖКТ – было ниже значений контрольной группы на 3,03 %. Такое изменение, вероятно, связано с ухудшением переваривания и всасывания белков в желудочно-кишечном тракте из-за развившегося там воспалительного процесса.

Особое внимание при изучении белковых фракций, по мнению многих ученых, следует уделять оценке уровня глобулинов, являющихся активными переносчиками различных веществ крови, а также выполняющими иммунную функцию [10].

Количество глобулинов в крови у телят с заболеваниями ЖКТ было выше на 3,32 %, чем у здоровых, хотя, по мнению некоторых авторов, потенциальной причиной желудочно-кишечных

болезней различной этиологии может являться гипоиmuноглобулинемия [11].

У телят с заболеваниями органов дыхания данный показатель, наоборот, был ниже, чем у здоровых животных на 17,27 %.

Часто к маркерным показателям относят и соотношение альбуминовых и глобулиновых фракций крови, показывающее состояние печени и почек, а также наличие или отсутствие воспалительных процессов.

Соотношение альбуминов и глобулинов в крови у здоровых телят и больных желудочно-кишечными заболеваниями находилось в пределах нормы. А в крови телят с заболеваниями органов дыхания – было выше из-за снижения глобулинов. Разница с контрольными животными составила 36,97 %. Вероятной причиной может быть истощение иммунных ресурсов организма телят на фоне развившихся воспалительных процессов [11].

Для оценки функционального состояния печени, сердца и других органов исследуют активность ряда ферментов, содержащихся в плазме крови (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание в крови телят АСаТ, АЛаТ, ГГТ, (n=10)

| Показатель | Группа | | |
|--------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Здоровые (контроль) | Заболевания ЖКТ (простая диспепсия) | Заболевания органов дыхания (ринит) |
| ГГТ, ед/л | 127,85±24,72 | 133,26±44,28 | 115,7±38,24 |
| АСаТ, ед/л | 41,7±10,92 | 44,4±13,22 | 31,7±14,22 |
| АЛаТ, ед/л | 17,8±9,15 | 15,9±4,70 | 21,7±15,13 |
| Коэффициент Ритиса | 2,57±0,83 | 3,07±1,22 | 2,38±1,28 |

ГГТ (гамма-глутамилтрансфераза) принимает участие в обмене аминокислот. У новорожденных наблюдается повышение активности данного фермента, связанное с физиологическим холестазом. В дальнейшем активность данного фермента уменьшается и стабилизируется. В клинической диагностике этот фермент является крайне чувствительным биомаркером заболеваний печени, связанных с нарушением кормления.

У всех телят активность ГГТ была выше нормы (до 50 ед/л), максимальные значения регистрировали у телят с болезнями ЖКТ – на 4,23 % выше, чем у здоровых. В группе с респираторными болезнями значение ГГТ было ниже, чем у здоровых телят на 9,5 %.

АСаТ (аспартатаминотрансфераза) и АЛаТ (аланинаминотрансфераза) – активность названных ферментов находилась в пределах нормы (для АСаТ 10–80 ед/л, для АЛаТ до 50 ед/л), однако активность АСаТ у телят с заболеваниями органов дыхания была ниже, чем у здоровых на 23,98 %, а АЛаТ, наоборот, выше на 21,91 %. У телят с заболеваниями пищеварительной системы активность АЛаТ была ниже значений контрольной группы на 10,67 %.

Щелочная фосфатаза является активным ферментом, содержится в клетках печени, тонкого ки-

шечника и в почках (рис. 3). У молодых животных активность ЩФ значительно превышает значения у взрослых. Это связано с процессами активного роста. Стабилизация данного показателя наблюдается после полового созревания.

Наибольшее значение активности ЩФ было у здоровых животных. У больных с диспепсией значения были ниже на 18,74 %, а у телят с заболеваниями дыхательной системы на 11,10 %.

Предположительными причинами снижения уровня ЩФ стало ослабление метаболических процессов, связанных с воспалительной реакцией.

Для диагностики и раннего выявления алиментарных заболеваний, чаще всего являющихся следствием нарушения процессов метаболизма, в качестве маркеров используют такие показатели, как содержание билирубина, мочевины, креатинина, мочевой кислоты, а также некоторых электролитов.

Билирубин – это гемоглобиногенный пигмент, образующийся при гемолизе эритроцитов. В печени происходит его глюкуронизация (конъюгация) в ходе которой пигмент переходит в водорастворимую форму и выводится из организма. В печени происходит его преобразование в менее токсичные формы и выведение с желчью. В первые дни жизни у телят количество билирубина в



крови возрастает, что связано с физиологическим усилением разрушения эритроцитов, но с 5 дня постепенно снижается и к 30-дневному возрасту стабилизируется.

В крови животных всех трех групп показатель общего билирубина находился в пределах физио-

логической нормы для телят (3,4-17,1 мкмоль/л). У телят с диспепсией данный признак был на 5,05 % выше, чем у здоровых животных, в то время как у телят с ринитом только на 1,08 % (рис. 4). Это свидетельствует о нормальном функционировании печени и желчевыводящих путей.

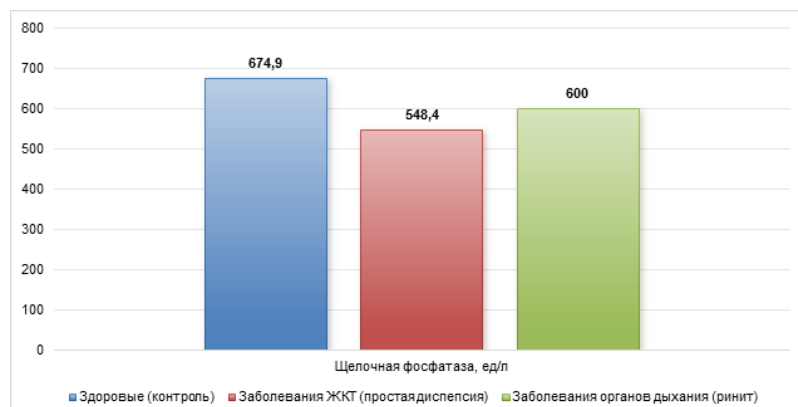


Рис. 3 – Содержание щелочной фосфатазы в крови телят, (n=10)
Fig. 3 – Alkaline phosphatase content in calf blood, (n=10)



Рис. 4 – Содержание билирубина в крови телят, (n=10)
Fig. 4 – Bilirubin content in calf blood, (n=10)

Прямой (конъюгированный) билирубин представляет из себя растворимую фракцию общего билирубина. Названный показатель в группе с заболеваниями ЖКТ был достоверно выше ($p < 0,05$), чем у здоровых животных на 5,8 %. В группе с заболеваниями органов дыхания также наблюдали увеличение данного признака на 5,8 %. Вероятными причинами увеличения этого показателя ученые называют нарушение процессов секреции конъюгированного билирубина в желчь или оттока желчи в кишечник.

Количество мочевины в крови телят всех групп находилось в пределах нормы (4,4-7,3 ммоль/л), но у телят с признаками заболеваний дыхательной системы данный показатель был ниже, чем у здоровых на 7,6 % (табл. 3). А у телят с заболеваниями пищеварительной системы, наоборот, количество мочевины в крови было больше значений контрольной группы на 1,7 %. Количество креатинина в крови всех животных находилось примерно на одном уровне, достоверных изменений выявлено не было.

Таблица 3 – Содержание мочевины и креатинина в крови телят, (n=10)

| Показатель | Группа | | |
|---------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Здоровые (контроль) | Заболевания ЖКТ (простая диспепсия) | Заболевания органов дыхания (ринит) |
| Мочевина, ммоль/л | 6,31±1,42 | 6,42±1,30 | 5,83±1,47 |
| Креатинин, мкмоль/л | 120,84±12,41 | 119,01±9,32 | 120,12±16,74 |

Мочевая кислота является конечным продуктом обмена белков в организме. Изменение количества мочевой кислоты в крови телят в зависимости от их физиологического статуса приведено на рисунке 5.

Значение данного показателя у здоровых животных было выше на 7,8 %, чем у телят с диспеп-

сией, и на 7,6 %, чем у телят с признаками ринита.

Снижение мочевой кислоты может быть обусловлено целым комплексом причин: от недостаточного поступления пуринов с кормом до нарушения работы печени и почек.

Неотъемлемой частью анализа биохимического статуса животных является оценка



содержания электролитов в крови.

В нормальном физиологическом состоянии у животных наблюдается достаточное постоянство электролитного состава крови, поэтому представляется возможным изучить данные показатели как биомаркеры клинического состояния животных.

Основными мониторинговыми показателями, встречающимися в исследованиях ученых, посвященных этой проблеме, являются содержание кальция, фосфора, калия, натрия, железа, магния, хлора, а также кислотность (pH) и осмолярность крови (табл. 4).

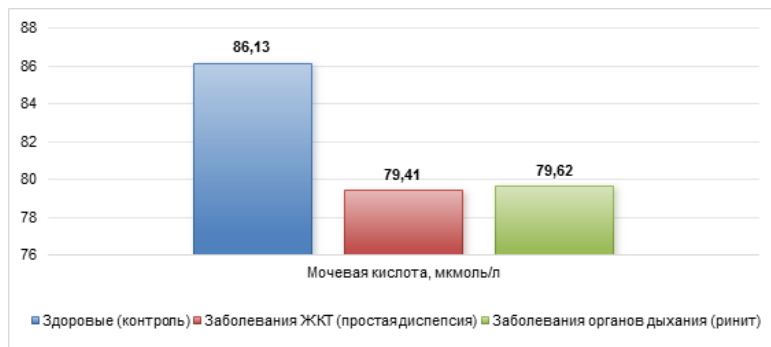


Рис. 5 – Содержание мочевой кислоты в крови телят, (n=10)

Fig. 5 – Uric acid content in calf blood, (n=10)

Таблица 4 – Показатели минерального обмена телят, (n=10)

| Показатель | Группа | | |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Здоровые (контроль) | Заболевания ЖКТ (простая диспепсия) | Заболевания органов дыхания (ринит) |
| Калий, ммоль/л | 4,12±0,30 | 4,51±0,44** | 4,33±0,37 |
| Натрий, ммоль/л | 133,44±2,03 | 135,51±3,04 | 135,01±2,20* |
| Фосфор, ммоль/л | 2,63±0,28 | 2,42±0,26* | 2,38±0,33 |
| Кальций, ммоль/л | 2,52±0,14 | 2,51±0,14 | 2,57±0,22 |
| Ионизированный кальций, ммоль/л | 1,20±0,06 | 1,23±0,05 | 1,25±0,04* |
| Железо, ммоль/л | 37,79±15,54 | 35,24±18,43 | 40,28±22,58 |
| Магний, ммоль/л | 1,27±0,08 | 1,22±0,19 | 1,31±0,15 |
| Хлор, ммоль/л | 96,07±31,38 | 106,91±3,36 | 106,22±2,22 |
| Кислотность (pH) | 7,36±0,05 | 7,36±0,03 | 7,34±0,04 |
| Осмолярность, мкмоль/л | 273,7±4,30 | 278,2±6,14* | 276,9±4,25 |

Примечание: в сравнении с контролем: * – $p<0,05$; ** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$

Содержание калия в крови телят с болезнями ЖКТ было достоверно выше ($p<0,01$), чем у здоровых животных на 9,5 %. При респираторных заболеваниях данный показатель также был выше, чем у здоровых, разница составила 5,1 %.

Содержание натрия в крови телят всех групп было различным в зависимости от состояния животных. В крови здоровых телят натрия было меньше, чем у телят с диспепсией на 1,6 %. Содержание натрия в крови телят с ринитом было достоверно выше ($p<0,05$), чем у здоровых на 1,2 %.

Количество фосфора в крови здоровых телят было выше, чем у больных. В крови телят с болезнями ЖКТ содержание фосфора было достоверно меньше на 8,0 % ($p<0,05$), а у телят с респираторными болезнями на 9,5 % ниже. Вероятной причиной снижения является обезвоживание организма или снижение переваримости и всасывания фос-

фора в тонком отделе кишечника [12, 13].

Содержание кальция в крови здоровых телят и больных диспепсией находилось на одном уровне. У больных ринитом содержание кальция в крови было выше на 2,0 % по сравнению с контролем.

Количество ионизированного кальция в крови телят с ринитом было достоверно выше ($p<0,05$), чем в контрольной группе на 4,2 %. В группе с заболеваниями ЖКТ разница составила 2,5 % в пользу больных животных.

Содержание железа в крови телят с заболеваниями ЖКТ было ниже, чем у здоровых на 6,75 %, что, вероятно, связано с ухудшением его всасывания в тонком кишечнике. В крови телят с ринитом количество железа в крови было выше, чем у здоровых животных на 6,59 %.

Содержание магния в крови телят было неодинаково. Так, у телят с диспепсией содержание



магния было ниже, чем у здоровых на 3,94 %. У животных с ринитом количество магния было выше на 3,15 %.

Количество хлора в крови у телят больных диспепсией и ринитом было выше, чем у здоровых. Разница составила 11,98 % и 10,57 % соответственно.

Нарушение электролитного баланса является важным биомаркером физиологического состояния животного, что подтверждается и исследованиями других ученых [12, 14]. pH крови у всех телят была в пределах физиологической нормы – 7,34-7,4. У телят с респираторными заболеваниями наблюдали небольшой сдвиг pH в кислую сторону на 0,02 единицы. Это, вероятно, связано с некоторым ухудшением газообмена и накоплением недоокисленных продуктов метаболизма, в том числе продуктов воспаления.

Осмолярность – показатель водно-солевого баланса, отражающий концентрацию растворенных минеральных веществ в плазме крови. У телят, больных диспепсией, осмолярность крови была достоверно выше значений контрольной группы на 1,64 %, что связано с некоторой дегидратацией из-за диареи. У телят с ринитом данный показатель также был выше, разница составила 1,17 %.

Заключение

Исследования показали, что количество общего белка в крови всех животных находилось в пределах верхней границы физиологической нормы, однако наметилось некоторое снижение на 6,15 % в группе телят с респираторными заболеваниями. Значительное снижение показало содержание альбуминов в крови у телят с патологией ЖКТ, что связано со снижением переваривания и всасывания белков, а также глобулинов в крови у телят с заболеваниями органов дыхания – на 17,27 %, что, возможно, обуславливается низкой резистентностью организма телят и истощением иммунных ресурсов на фоне воспалительных процессов.

Количество ГГТ было выше нормы, максимальные значения регистрировали у телят с болезнями ЖКТ – на 4,23 % выше, чем у здоровых, что также может быть связано с нарушением метаболизма протеина в организме телят.

Активность аминотрансфераз была неодинакова в разрезе клинического состояния животных. Так, у телят с заболеваниями органов дыхания активность АСаТ была ниже, чем у здоровых на 23,98 %, а АЛаТ, наоборот, выше на 21,91 %. При заболеваниях ЖКТ, наоборот, снизилось количество АЛаТ на 10,67 % по сравнению с контролем.

Независимо от этиологии произошло снижение активности ЩФ в крови больных телят, предположительными причинами которого может быть ослабление метаболических процессов или нарушения минерального обмена, анемия, недостаток аскорбиновой кислоты при выраженном избытке витамина D.

В крови животных с заболеваниями ЖКТ показатель прямого билирубина был достоверно выше ($p < 0,05$), чем у здоровых животных на 5,8 %, вероятными причинами подобной ситуации может

быть нарушение процессов секреции конъюгированного билирубина в желчь или оттока желчи в кишечник. Содержание мочевой кислоты снизилось в обеих группах клинически больных телят – на 7,6-7,8 % по сравнению с контролем.

При исследовании маркерного эффекта электролитов было определено, что в крови телят с болезнями ЖКТ было достоверно выше ($p < 0,01$) содержание калия, ниже – содержание фосфора ($p < 0,05$), а также отмечалась тенденция к повышению уровня ионизированного кальция и хлора на фоне снижения содержания железа и магния.

Достоверное повышение содержания натрия ($p < 0,05$) и ионизированного кальция ($p < 0,05$) было обнаружено в группе телят с респираторными заболеваниями. В этой же группе выявлена тенденция к повышению содержания калия, кальция, железа, магния и хлора при одновременном снижении количества фосфора.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ биохимического статуса животных позволил оценить клиническое состояние животных и выявить ряд показателей, характеризующихся выраженным маркерным эффектом.

Список источников

1. Малкина, С.В. Нарушение белково-минерального обмена у телят при марганцевой недостаточности : специальность 16.00.0216.00.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Малкина Светлана Викторовна. – Барнаул, 2002. – 123 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19184455>
2. Зміни біохімічних показників крові телят хворих на колібактеріоз при комплексній дії діоксидетину і тилозину // Вестник Сумського національного аграрного університету. – 2013. – № 2. – Р. 92-95. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19131212>
3. Эффективность применения синтетических аминокислот при выращивании телят джерсейской породы в условиях племенного предприятия / Г. Н. Глотова, В. А. Позолотина, Е. Н. Правдина, К. Г. Магомедов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 5-11. – DOI 10.36508/RSATU.2023.93.30.002.
4. Основные маркеры крови клинического состояния телят с признаками простой диспепсии / О. А. Карелина, О. А. Федосова, В. В. Кулаков [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 36-45. – DOI 10.36508/RSATU.2023.87.42.006.
5. Нормы потребности лактирующих коров в незаменимых аминокислотах / В. Г. Рядчиков, О. Г. Шляхова, А. Тантани [и др.] // Эффективное животноводство. – 2019. – № 8 (156). – С. 24-27. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41282490>.
6. Попова, С. А. Современные подходы к протеиновому питанию высокопродуктивных коров / С. А. Попова // Псковский региональный журнал. – 2009. – № 7. – С. 26-30. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16352908>
7. Васильева, С.В. Клиническая биохимия



крупного рогатого скота / С.В. Васильева, Ю.В. Конопатов. – Издание 2-е, исправленное. – Санкт-Петербург : Издательство Лань, 2017. – 188 с. – ISBN 978-5-8114-2471-9. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29273317>

8. Корякина, Л.П. Состояние обмена веществ и естественной резистентности в организме новорожденных телят / Л.П. Корякина, Н.И. Борисов // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 1. – С. 62-65. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651232>

9. Эленшлегер, А.А. Минерально-витаминный статус у коров в хозяйствах Алтайского края / А.А. Эленшлегер, О.В. Танкова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 2(76). – С. 80-84. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15579061>

10. Ного, В.И. Основные особенности биохимического состава крови крупного рогатого скота / В.И. Ного, А.А. Савинова // Инновационная наука. – 2021. – № 1. – С. 142-146. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44472305>

11. Морфологические и биохимические показатели крови телят при применении живой ассоциированной вакцины против вирусных респиратор-

ных инфекций / П.А. Красочко, А.В. Притыченко, И.А. Красочко [и др.] // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2021. – Т. 10, № 1. – С. 35-39. – DOI 10.48612/v4x1-f9kt-hf1n.

12. Савельева, Л.Н. Биохимический статус крови телят в норме и при патологии органов пищеварения / Л.Н. Савельева // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 9(186). – С. 179-183. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-9-179-183.

13. Исмагилова, Э.Р. Клинико-морфологические проявления, прогнозирование и коррекция нарушений минерального обмена у животных : специальность 16.00.02 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук / Исмагилова Эльза Равильевна. – Уфа, 2006. – 42 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15898965>

14. Корельская, Л.А. Биохимические показатели минерального обмена в сыворотке крови высокопродуктивных коров по периодам лактации при различных способах содержания / Л.А. Корельская, С.А. Коломиец, Л.П. Соснина // Молочнохозяйственный вестник. – 2024. – № 1(53). – С. 49-65. – DOI 10.52231/2225-4269_2024_1_49.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Malkina, S.V. *Narushenie belkovo-mineral'nogo obmena u telyat pri margancevoj nedostatochnosti : special'nost' 16.00.0216.00.01 : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata veterinarny'x nauk / Malkina Svetlana Viktorovna.* – Barnaul, 2002. – 123 s. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19184455>

2. *Zmini bioximichnix pokaznikov krovi telyat xvorix na kolibakterioz pri kompleksnij dii dioksivetinu i tilozinu // Vestnik Sumskogo nacional'nogo agrarnogo universiteta.* – 2013. – No. 2. – P. 92-95. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19131212>

3. *E'ffektivnost' primeneniya sinteticheskix aminokislot pri vy'rashhivanii telyat dzhersejskoj porody` v usloviyax plemennogo predpriyatiya / G. N. Glotova, V. A. Pozolotina, E. N. Pravdina, K. G. Magomedov // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotexnologicheskogo universiteta im. P.A. Kosty`cheva.* – 2023. – T. 15, № 4. – S. 5-11. – DOI 10.36508/RSATU.2023.93.30.002.

4. *Osnovny'e markery` krovi klinicheskogo sostoyaniya telyat s priznakami prostoj dispepsii / O. A. Karelina, O. A. Fedosova, V. V. Kulakov [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotexnologicheskogo universiteta im. P.A. Kosty`cheva.* – 2023. – T. 15, № 4. – S. 36-45. – DOI 10.36508/RSATU.2023.87.42.006.

5. *Normy` potrebnosti laktiruyushhix korov v nezamenimy'x aminokislotax / V. G. Ryadchikov, O. G. Shlyaxova, A. Tantavi [i dr.] // E'ffektivnoe zhivotnovodstvo.* – 2019. – № 8 (156). – S. 24-27. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41282490>

6. *Popova, S. A. Sovremenny'e podxody` k proteinovomu pitaniyu vy`sokoproduktivny'x korov / S. A. Popova // Pskovskij regionologicheskij zhurnal.* – 2009. – № 7. – S. 26-30. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16352908>

7. *Vasil`eva, S.V. Klinicheskaya bioximiya krupnogo rogatogo skota / S.V. Vasil`eva, Yu.V. Konoparov. – Izdanie 2-e, ispravlennoe. – Sankt-Peterburg : Izdatel'stvo Lan`, 2017. – 188 s. – ISBN 978-5-8114-2471-9. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29273317*

8. *Koryakina, L.P. Sostoyanie obmena veshhestv i estestvennoj rezistentnosti v organizme novorozhdenny'x telyat / L.P. Koryakina, N.I. Borisov // Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* – 2016. – T. 30, № 1. – S. 62-65. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651232>

9. *E`lenshleger, A.A. Mineral`no-vitaminny`j status u korov v xozyajstvax Altajskogo kraya / A.A. E`lenshleger, O.V. Tankova // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – 2011. – № 2(76). – S. 80-84. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15579061>

10. *Noga, V.I. Osnovny'e osobennosti bioximicheskogo sostava krovi krupnogo rogatogo skota / V.I. Noga, A.A. Savinova // Innovacionnaya nauka.* – 2021. – № 1. – S. 142-146. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44472305>



11. Morfologicheskie i bioximicheskie pokazateli krovi telyat pri primenenii zhivoj associirovannoj vakciny protiv virusnyx respiratornyx infekcij / P.A. Krasochko, A.V. Pritychenko, I.A. Krasochko [i dr.] // Sbornik nauchnyx trudov Krasnodarskogo nauchnogo centra po zootexnii i veterinarii. – 2021. – T. 10, № 1. – S. 35-39. – DOI 10.48612/v4x1-f9kt-hf1n.
12. Savel'eva, L.N. Bioximicheskij status krovi telyat v norme i pri patologii organov pishhevareniya / L.N. Savel'eva // Vestnik KrasGAU. – 2022. – № 9(186). – S. 179-183. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-9-179-183.
13. Ismagilova, E.R. Kliniko-morfologicheskie proyavleniya, prognozirovaniye i korrekciya narushenij mineral'nogo obmena u zhivotnyx : special'nost' 16.00.02 : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora veterinarnyx nauk / Ismagilova E.R. za Ravi'evna. – Ufa, 2006. – 42 s. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15898965>
14. Korel'skaya, L.A. Bioximicheskie pokazateli mineral'nogo obmena v syvorotke krovi vy'sokoproduktivnyx korov po periodam laktacii pri razlichnyx sposobax soderzhaniya / L.A. Korel'skaya, S.A. Kolomicz, L.P. Sosnina // Molochnoxozaystvennyj vestnik. – 2024. – № 1(53). – S. 49-65. – DOI 10.52231/2225-4269_2024_1_49.

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Уливанова Галина Викторовна, канд. биол. наук, доцент кафедры зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», darinelle@mail.ru

Щербакова Ирина Валерьевна, ст. препод. кафедры анатомии и физиологии животных, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», irina.bochkowa@yandex.ru

Карелина Ольга Александровна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», olg90945056@yandex.ru

Федосова Ольга Александровна, канд. биол. наук, доцент кафедры зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», fedosowa1986@mail.ru

Романов Кирилл Игоревич, канд. биол. наук, доцент кафедры анатомии и физиологии животных, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kirill.romanov1993@mail.ru

Author information

Ulivanova Galina V., Ph.D. Biol. Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Science and Biology, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, darinelle@mail.ru

Scherbakova Irina V., Senior Lecturer of the Department of Anatomy and Physiology of Animals, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, irina.bochkowa@yandex.ru

Karelina Olga A., Ph.D. Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Science and Biology, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, olg90945056@yandex.ru

Fedosova Olga A., Ph.D. Biol. Sciences, Associate Professor of Department of Animal Science and Biology, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, fedosowa1986@mail.ru

Romanov Kirill I., Ph.D. Biol. Sciences, Associate Professor of the Department of Anatomy and Physiology of Animals, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kirill.romanov1993@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.10.2025; одобрена после рецензирования 26.11.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 20.10.2025; approved after reviewing 26.11.2025; accepted for publication 15.12.2025





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 619:616.155:636.92
DOI: 10.36508/RSATU.2025.14.67.012

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ СУБКЛИНИЧЕСКОМ ТРИТИЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОРГАНИЗМ КРОЛИКОВ

Федотова Арина Сергеевна¹, Жигарев Александр Алексеевич²

^{1,2} Красноярский государственный аграрный университет, г.Красноярск, Россия

¹ krasfas@mail.ru

² Zhigarev98@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. По данным НКДАР ООН, особое внимание уделяется оценке поведения в окружающей среде глобально рассеиваемых радионуклидов – ^3H , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{129}I . В настоящее время регистрируется значительное присутствие трития в объектах биосферы. Изотоп является биологически активным радионуклидом, активно включается в состав тканей и органов, в значительных количествах активно воздействует на их функционирование. Анализ радиобиологического воздействия трития на функционирование тканей и органов организма сельскохозяйственных животных в настоящее время является актуальной задачей радиоэкологии. Работа посвящена оценке гематологических показателей, определению вариаций лейкоцитарного профиля и фагоцитарной активности клеток периферической крови кроликов при действии поглощенных доз трития до 356 мГр.

Методология. Работа проведена в 2023-2024 годах в институте прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ. Для научной работы из кроликов калифорнийской породы созданы девять опытных групп, в которых сформированы поглощенные дозы: до 2,6 мГр; 3,3-4,2 мГр; 6,4-14,0 мГр; 16,6-21,4 мГр; 31,9 мГр; 50,9-52,2 мГр; 62,3-63,2 мГр; 92,6 мГр и 355,6 мГр. Клиническое исследование проводили по общепринятой методике. Подсчет количества лейкоцитов и эритроцитов выполняли по общепринятым методикам. Лейкоцитарную формулу оценивали методом Мухина. Содержание гемоглобина определяли на спектрофотометре. Фагоцитарную активность клеток крови определяли путем введения «in vitro» частиц латекса с последующей окраской и микроскопией.

Результаты. В работе установлено, что воздействие трития не оказывало влияния на клиническое состояние организма кроликов. Однако у кроликов опытных групп выявлено увеличение количества лейкоцитов и эритроцитов. Малые дозы трития у кроликов формируют характерные изменения в лейкоцитарном профиле крови, НТО до 355,6 мГр вызывает образование юных форм нейтрофилов и уменьшение числа сегментоядерных гранулоцитов, это свидетельствует о инициации кроветворения. Установлено не соразмерное изменение фагоцитарного индекса при увеличении поглощенной дозы тритиевого воздействия. Выявленные изменения дополняют цифровыми данными теорию бимодальной зависимости при воздействии ионизирующего излучения в малых дозах на многоклеточный организм.

Заключение. По итогам работы выделен диапазон поглощенных доз 31,9-92,6, при действии трития в этом интервале в периферической крови регистрировали увеличение гемоглобина, эритроцитоз, лимфоцитоз, в лейкоцитарном профиле рост числа юных и палочкоядерных нейтрофилов, снижение количества сегментоядерных нейтрофилов. В периферической крови кроликов при действии трития в дозе 63 мГр резко снижался фагоцитарный индекс, что нами определяется как негативный фактор тритиевого воздействия.

Ключевые слова: кролики, тритий, лейкоциты, эритроциты, лейкоцитарный профиль, фагоцитарный индекс

Для цитирования: Федотова А.С., Жигарев А.А. Гематологические показатели при субклиническом тритиевом воздействии на организм кроликов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.94-103 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.14.67.012>



HEMATOLOGICAL INDICATORS IN SUBCLINICAL TRITIUM EXPOSURE TO RABBITS

Arina S. Fedotova¹, Alexander A. Zhigarev²^{1,2} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia¹ krasfas@mail.ru² Zhigarev98@mail.ru**Abstract.**

Problem and purpose. According to the UNSCEAR, special attention is paid to assessing the environmental behavior of globally dispersed radionuclides – H, ¹⁴C, ⁸⁵Kr, ¹²⁹I. Currently, a significant presence of tritium is being recorded in the objects of the biosphere. The isotope is a biologically active radionuclide, is actively incorporated into tissues and organs, and actively affects their functioning in significant quantities. The analysis of the radiobiological effects of tritium on the functioning of tissues and organs of the body of farm animals is currently an urgent task of radioecology. The work is devoted to the assessment of hematological parameters, determination of variations in the leukocyte profile and phagocytic activity of rabbit peripheral blood cells under the action of absorbed doses of tritium up to 356 mGy.

Methodology. The work was carried out in 2023-2024 at the Institute of Applied Biotechnology and Veterinary Medicine, Krasnoyarsk State Agrarian University. For scientific work, nine experimental groups were created from California breed rabbits in which absorbed doses were formed: up to 2.6 mGy; 3.3-4.2 mGy; 6.4-14.0 mGy; 16.6-21.4 mGy; 31.9 mGy; 50.9-52.2 mGy; 62.3-63.2 mGy; 92.6 mGy and 355.6 mGy. The clinical trial was conducted according to a generally accepted methodology. The count of white blood cells and red blood cells was performed according to generally accepted methods. The leukocyte formula was evaluated by the Mukhin method. The hemoglobin content was determined on a spectrophotometer. The phagocytic activity of blood cells was determined by in vitro injection of latex particles, followed by staining and microscopy.

Results. The study found that tritium exposure had no effect on the clinical status of the rabbits. However, increased white and red blood cell counts were observed in the experimental groups. Low doses of tritium in rabbits produced characteristic changes in the white blood cell profile. HTO up to 355.6 mGy caused the formation of juvenile neutrophils and a decrease in the number of segmented granulocytes, indicating the initiation of hematopoiesis. A disproportionate change in the phagocytic index was observed with increasing absorbed doses of tritium exposure. These changes provide numerical data to support the theory of bimodal dependence in the effects of low-dose ionizing radiation on multicellular organisms.

Conclusion. Based on the study's findings, a range of absorbed doses was identified, ranging from 31.9 to 92.6. Tritium exposure within this range resulted in increased hemoglobin, erythrocytosis, and lymphocytosis in peripheral blood. The leukocyte profile showed an increase in the number of juvenile and band neutrophils, and a decrease in the number of segmented neutrophils. In the peripheral blood of rabbits exposed to 63 mGy of tritium, the phagocytic index decreased sharply, which we define as a negative factor associated with tritium exposure.

Key words: rabbits, tritium, leukocytes, erythrocytes, leukocyte profile, phagocytic index

For citation: Fedotova A.S., Zhigarev A.A. Hematological indicators in subclinical tritium exposure to rabbits. // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.4, P. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.14.67.012>

Введение

Биосфера постоянно подвергается влиянию негативных факторов, к одним из них относится ионизирующее излучение. На компоненты биосферы воздействуют естественные источники радиации: космическое излучение; природные радионуклиды, которые формируют среднегодовую поглощенную дозу от природных источников. Значение среднегодовой поглощенной дозы от природных источников для сельскохозяйственных животных различно на территории РФ и определяется географической широтой и высотой над уровнем моря. Значение природной среднегодовой поглощенной дозы не вызывает в организме сельскохозяйственных животных патологических изменений и воспринимается системами организма как норма [1].

В формировании среднегодовой поглощенной дозы, природные источники составляют 99,98 %, дополнительный вклад в среднегодовую поглощенную дозу продуктивных животных вносят антропогенные (техногенные) источники ионизирующего излучения.

Тритий ($T, {}^3H$) – радиоактивный (сверхтяжелый) изотоп водорода, количество нуклонов 3 (один протон, два нейтрона), атомная масса 3,02 а.е.м, в результате β -распада образует изотоп гелия (3He). Энергия β -частиц трития – 0,0186 МэВ, пробег в воздухе β -частицы – 5,8 мм, в ткани 6,5 мк, плотность ионизации в воздухе 190 пары ионов на 1 мм, $T_{1/2}$ – 12,32 года, [2, 3, 6]. 3H имеет естественную и антропогенную природу. В природе тритий образуется в мезосфере, термосфере и экзосфере при взаимодействии частиц космического излучения с атомами азота,



кислорода и аргона [3, 4]. Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиологической защите, предельно допустимая концентрация (ПДК) для газообразного трития в воздушной среде – 2×10 мкКи/л. Согласно указаниям Международного агентства по атомной энергии ПДК трития в питьевой воде для стран: США – 0,7 кБк/л, Канады – 7 кБк/л, в странах Евросоюза – 0,1 кБк/л. Допустимая среднегодовая объемная активность трития в России согласно санитарным правилам и нормативам СанПиН 2.6.1.2523 – 09 «Нормы радиационной безопасности НРБ – 99/2009» составляет $4,4^5 - 4,4^9$ Бк/м³ [3].

Общее количество ^3H в биосфере в настоящее время примерно 300 кг, основная доля ^3H находится в пресных водах [3, 5]. В России тритий производился на реакторах АИ, АВ-3, ОК-180, ОК-190, РУСЛАН, Л-2; изотоп выделяется на заводе РТ-1. Значительное количество трития (до 2,5–3,5 кг) для гражданского использования производит Канада. Мировая коммерческая потребность в тритии составляет ежегодно около 400 кг, около 4 кг трития в год образуется на АЭС. К 2100 г. равновесное содержание трития в биосфере Земли составит примерно $2,52 \times 10^{19}$ кБк [6]. По данным Гидрометеослужбы Урала в 2012 году удельная активность ^3H на поверхности почвы составляла $81\text{--}97 \times 10^9$ Бк/км² [2].

По данным НКДАР ООН (2014 г.), особое внимание уделяется оценке поведения в окружающей среде глобально рассеиваемых радионуклидов – ^3H , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{129}I . В отчете приводятся радиобиологические эффекты у животных при воздействии инкорпорированного трития. Согласно докладу к факторам повышенного внимания к биологическим эффектам трития относится: низкая энергия изотопа, определяющая низкую радиотоксичность, следовательно, высокие допустимые пределы выбросов в окружающую среду (ТБк); изотоп легко инкорпорируется в органические молекулы (в т. ч. ДНК), которые участвуют в обмене веществ внутри организма [7].

Тритий является изотопом биогенного элемента водорода, при поступлении во внутреннюю среду распределяется равномерно по тканям и органам, создаёт в 10–30 раз большую плотность ионизации, чем рентгеновское и γ -излучение, изотоп имеет высокую биологическую активность в отличие от иных γ - и β -излучателей (^{137}Cs , ^{106}Ru , ^{60}Co). Тритий имеет трансмутагенное действие, которое способно инициировать генетические изменения [8, 9]. При внутреннем облучении (поступление аэрогенно, алиментарно) изотоп представляет серьёзную опасность для здоровья животных, в тканях изотоп активно взаимодействует с кислородом, серой, азотом, хорошо проникает через мембрану, активно взаимодействует с органеллами клетки, изменяя их деятельность, что формирует изменение в тканях и органах [6, 10, 11].

Выявлено, что при тритиевом воздействии на крыс в дозе 800 кБк/л, формируется генотоксический эффект [10]. Установлено, что при действии

малых доз β -лучей трития на культуру клеток «in vitro» наблюдается высокий уровень активных форм кислорода, изменение распределения клеточного цикла, нарушение биосинтеза холестерина, наличие длительной активной воспалительной реакции, сопровождающейся стойкой высокой экспрессией цитокинов. При воздействии трития наблюдается стойкая воспалительная реакция, которая может быть связана с накоплением трития в форме органически связанного трития в липидах [11]. После поступления алиментарно ^3H равномерно распределяется в водной фазе организма, изотоп хорошо включается в состав тканей организма. В клетках тканей в результате β -излучения, изменения молекулярных связей, образования изотопов ^3He тритий потенцирует изменения структуры ДНК [4, 5, 12].

В случае связи трития с органическими молекулами значение относительной биологической эффективности выше, чем у трития в форме оксида. При введении трития в организм животных в виде тритированного тимидина значения относительной биологической эффективности в два раза выше. Из большого количества имеющихся в настоящее время данных о тритии очевидно, что значения относительной биологической эффективности бета-излучения трития выше, чем коэффициент качества, равный единице, который обычно используется в радиационной защите [9].

Сравнительные данные по биологическим эффектам неорганических (НТО) и органических (ОСТ) соединений трития на молекулярном, цитогенетическом и организменном уровнях показывают, что расчет ОБЭ соединений трития на разных уровнях организации приводит к противоречивым данным. [13].

При воздействии трития на мышей установлено дозозависимое снижение количества эритроцитов и дефицит железа; через восемь месяцев после тритиевого воздействия установлено, что снижение количества эритроцитов компенсируется увеличением среднего глобулярного объёма. Анализ кроветворения, задержки эритроцитов в селезёнке и метаболизма железа в печени, почках и кишечнике показал, что дефицит железа был вызван снижением его всасывания в кишечнике [14].

В настоящее время регистрируется значительное присутствие трития в объектах биосферы. Изотоп является биологически активным радионуклидом, активно включается в состав тканей и органов, в значительных количествах активно воздействует на их функционирование. В связи с вышеизложенным необходимо усилить контроль выбросов ^3H в окружающую среду, проводить мониторинг компонентов агробиоценозов, подверженных загрязнению ^3H . Требуется провести оценку радиобиологических эффектов, возникающих в организме сельскохозяйственных животных при действии ^3H .

Ранее авторами проведена работа по определению воздействия сверхмалых (16–47 мкГр) поглощенных доз трития на фагоцитарную активность клеток крови, гематологические показатели



количества активных форм кислорода (АФК) в крови кроликов [15]. При алиментарном воздействии трития (6,8 мГр) на организм кроликов определена генерация АФК в периферической крови. Определена эффективность радиопротектора «Гумат калия 80» при тритиевом воздействии [16].

Цель работы: определение радиобиологических эффектов в периферической крови кроликов при действии малых доз (до 356 мГр) трития.

Задачи исследования: сформировать субклинические поглощенные дозы у кроликов, оценить гематологические показатели (количество форменных элементов крови, уровень гемоглобина), определить вариацию лейкоцитарного профиля крови, изучить изменения фагоцитарной активности лейкоцитов.

Материалы и методы исследований

Исследование проведено в период с августа 2023 по декабрь 2024г. в институте прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Для исследования созданы 9 опытных групп и 3 контрольных интактных группы, по 10 голов кроликов калифорнийской породы в каждой группе. Кролики в возрасте $7,1 \pm 0,3$ мес., весом – $4 \pm 0,5$ кг. Клиническое исследование проводили по общепринятой методике методом общего клинического осмотра. Для формирования поглощенных доз от 0,02 мГр до 355,6 мГр в воду для водопоя у животных опытных групп вносили раствор трития. Продолжительность дачи тритиевой воды определялась поглощенной дозой, самый продолжительный эксперимент (8 суток), был при формировании дозы 355,6 мГр. Контрольные интактные группы кроликов получали воду из централизованной системы водоснабжения г. Красноярска.

У кроликов опытных и интактных групп проводили общее клиническое обследование, определяли количество форменных элементов крови, содержание гемоглобина, лейкоцитарный профиль, фагоцитарную активность клеток крови. Рацион всех групп животных состоял из полнорационного комбикорма ПК-90 и сена разнотравного. Кролики опытных и интактных групп содержались в индивидуальных клетках. Отбор проб периферической крови проводили утром из краевой ушной вены в вакуумные пробирки с добавлением антикоагулянта.

Подсчет количества лейкоцитов и эритроцитов проводили по общепринятым методикам микроскопически в камере Горяева на микроскопе Микмед-5, а также на гематологическом анализаторе (dymind DM61 Vet). Для определения лейкоцитарной формулы применяли метод Мухина – изучение видовой принадлежности клеток в расчёте на 100 клеток в самом тонком месте мазка крови, покрашенного по Паппенгейму. Подсчёт клеток проводился на микроскопе Микмед-5 под увеличением объектива микроскопа $\times 90$ с использованием эмирсионного масла. [17]. Содержание гемоглобина определяли на спектрофотометре с использованием набора «Гемоглобин-ольвекс». Для количественного определения содержания гемоглобина в цельной крови кроликов применяли ре-

агенты «Гемоглобин-Ольвекс», принцип основан на изменении окраса цианометгемоглобина, который образуется при взаимодействии гемоглобина крови с феррицианидом калия в смеси с ацетонциангидрином. Интенсивность изменения окраски определяли в спектрофотометре при длине волны 540 нм. Для получения результата проводили расчёт по формуле $C = \frac{E_{\text{пробы}}}{E_{\text{калибр}}} \times 120$ где: E пробы –

оптическая плотность опытной пробы; E калибр – оптическая плотность калибровочной пробы; 120 – концентрация гемоглобина в калибраторе, г/л.

Фагоцитарную активность лейкоцитов крови определяли при введении в пробы «in vitro» частиц латекса (ФГУП ВНИИСК, С-Петербург) 5×10^8 част./мл., опсонизированных белками пулловой сыворотки кроликов. После проводили окраску 0,25 % раствором $C_{25}H_{30}ClN_3$ на основе 3 % CH_3COOH и оценивали активность фагоцитов микроскопией (увеличение $\times 40$) в камере Горяева, подсчитывали 100 фагоцитов.

Статистическая обработка результатов выполнена методами вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2013, различия значений считали достоверными при $P \leq 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение

У кроликов контрольных и опытных групп при общем клиническом осмотре не выявлено изменений физиологических показателей. Однако при малых дозах трития установлены изменения гематологических показателей: общее содержание эритроцитов, лейкоцитов, лейкоцитарный профиль.

В работе оценены гематологические показатели образцов периферической крови кроликов при следующих поглощенных дозах тритиевого воздействия: 0,02; 0,04; 0,06; 0,07; 0,08; 0,11; 0,22; 0,27; 0,31; 0,32; 0,36; 0,38; 0,43; 0,48; 0,62; 0,65; 0,93; 1,04; 1,08; 1,18; 1,23; 1,39; 1,56; 2,07; 2,47; 2,61; 3,26; 3,73; 4,20; 4,76; 6,42; 7,34; 8,25; 10,86; 12,40; 12,27; 13,95; 16,64; 19,01; 21,38; 31,85; 50,92; 62,29; 63,2; 92,60 и 355,6 мГр. В результате статистической обработки массива данных результаты, принадлежащие одному диапазону изменчивости, объединены в 9 групп: до 2,61 мГр; 3,26-4,20 мГр; 6,42-13,95 мГр; 16,00-21,38 мГр; 31,85 мГр; 50,92-52,2 мГр; 62,29-63,2 мГр; 92,60 мГр и 355,6 мГр (рис. 1).

Динамика изменения количества лейкоцитов при действии субклинических доз трития имела нестабильный характер, (табл.1). При дозах до 16,64 мГр количество лейкоцитов не изменялось относительно данных контроля. Установлено достоверное увеличение содержания лейкоцитов в группе №4 (16,64 мГр) на $3,92 \times 10^9/\text{л}$ ($P < 0,001$); в группе № 6 (50,9-52,2 мГр) – $2,21 \times 10^9/\text{л}$ ($P < 0,05$); в группе № 7 (62,3-63,2 мГр) – $2,76 \times 10^9/\text{л}$ ($P < 0,01$) относительно данных интактных групп. При исследовании в группе «интактный контроль №3» регистрировали более низкие значения лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина в сравнении с



первыми двумя контрольными группами; низкие значения показателей, по нашему мнению, определяются зимним периодом исследования, дозы 50,9- 355,6 мГр у кроликов были сформированы

в декабре 2022 года. Увеличение дозы до 92,60-355,6 мГр не приводило к росту количества лейкоцитов.



Рис. 1 – Группировка доз при субклиническом воздействии трития

Fig. 1 – Dose grouping for subclinical tritium exposure

Изменения количества эритроцитов при действии малых доз трития имели изменчивый характер, (табл. 1), установлено достоверное увеличение содержания эритроцитов в группе №1 (до 2,6 мГр) на $0,74 \times 10^{12}/л$ ($P < 0,05$); в группе № 2 (3,3-4,2 мГр) – $2,13 \times 10^{12}/л$ ($P < 0,001$), в группе № 3 (6,4-14,0 мГр) – $1,62 \times 10^{12}/л$ ($P < 0,001$) относительно данных интактного контроля №1. Увеличение дозы в диапазоне 16,6-21,4 мГр

не потенцировало рост содержания эритроцитов. Достоверное ($P < 0,001$) увеличение количества эритроцитов установлено в группах №5 (31,9 мГр) на $2,37 \times 10^{12}/л$; № 6 (50,9-52,2 мГр) – $2,29 \times 10^{12}/л$; № 7 (62,3-63,2 мГр) – $2,38 \times 10^{12}/л$; № 8 (92,6 мГр) – $3,81 \times 10^{12}/л$ относительно данных интактных контролей. При дозе 355,6 мГр не зарегистрировано повышения содержания эритроцито

Таблица 1 – Изменение гематологических показателей при действии 3H

| Группа (поглощенная доза) | Лейкоциты, $10^9/л$ | Эритроциты, $10^{12}/л$ | Гемоглобин, г/л |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|
| Референтные значения [11] | 5,9-9,0 | 5-7,5 | 100-125 |
| Интактный контроль № 1 | 8,78±0,95 | 5,83±0,27 | 128,44±2,39 |
| Опытная № 1 (до 2,6 мГр) | 9,85±0,31 | 6,57±0,16* | 134,37±1,97 |
| Опытная № 2 (3,3-4,2 мГр) | 9,23±0,60 | 7,96±0,25 *** | 135,48±2,30* |
| Опытная № 3 (6,4-14,0 мГр) | 10,17±0,78 | 7,45±0,34*** | 132,84±2,79 |
| Интактный контроль № 2 | 8,69±0,48 | 6,35±0,24 | 121,87±1,63 |
| Опытная № 4 (16,6-21,4 мГр) | 12,70±0,81*** | 6,53±0,47 | 135,41±2,19* |
| Опытная № 5 (31,9 мГр) | 8,28±0,66 | 8,72±0,29*** | 120,15±6,60 |
| Интактный контроль № 3 | 6,04±0,39 | 5,61±0,25 | 114,5±2,56 |
| Опытная № 6 (50,9-52,2 мГр) | 8,25±0,95* | 7,90±0,36*** | 158,67±6,26*** |
| Опытная № 7 (62,3-63,2 мГр) | 8,8±0,92 ** | 7,99±0,47*** | 153,49±4,61*** |
| Опытная № 8 (92,6 мГр) | 8,13±2,87 | 9,42±0,34*** | 117,78±3,92 |
| Опытная № 9 (355,6 мГр) | 7,73±0,99 | 6,78±0,50 | 120,00±3,55 |

Примечание: здесь и далее * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ по сравнению с данными интактного контроля

Уровень гемоглобина при тритиевом воздействии имел непостоянный характер. Выявлено увеличение содержания гемоглобина в группе №2 (3,3-4,2 мГр) на 7,04 г/л ($P < 0,05$); в группе №4 (16,6-21,4 мГр) – 13,54 г/л ($P < 0,05$); в группе № 6 (50,9-52,2 мГр) – 44,17 г/л; в группе № 7 (62,3-63,2 мГр) – 38,99 г/л относительно данных интактных

контролей. Увеличение дозы (92,60-355,6 мГр) не приводило к росту гемоглобина (табл. 1). Увеличение количества форменных элементов крови объясняется активацией кроветворения в результате стимулирующего действия 3H .

Лейкоцитарный профиль периферической крови кроликов изменялся с дозы 16,6 мГр. При ста



тистической обработке значения интактных контрольных групп объединены в одну совокупность, так как они принадлежали одному доверительно-му интервалу (табл. 2). При поглощенных дозах до 2,6 мГр (группа №1) в профиле гранулоцитов отмечалось появление юных форм нейтрофилов, количество юных форм увеличивалось ($P \leq 0,001$) по сравнению с интактным контролем на 1,44 %. Количество сегментоядерных нейтрофилов в группе №1 снижалось на 7,37 % ($P \leq 0,001$). Появление юных форм лейкоцитов свидетельствует о стимулирующем действии малых доз трития на органы гемопоэза.

В периферической крови в группе №2 (3,3-4,2 мГр), аналогично группе №1 регистрировались юные формы нейтрофилов, количество юных форм превышало данные контрольной группы на 1,71 % ($P \leq 0,001$). В группе №2 впервые регистрировалось снижение в 1,18 раза ($P \leq 0,01$) количества палочкоядерных нейтрофилов. Количество сегментоядерных нейтрофилов в этой группе аналогично группе №1 снижалось в 1,3 раз ($P \leq 0,001$).

В группе №3 (6,4-14,0 мГр) в профиле гранулоцитов отмечалось появление юных форм нейтрофилов, количество юных форм увеличивалось на 2,06 % ($P \leq 0,001$) относительно контрольной группы. В лейкоцитарной формуле выявлено снижение в 1,11 раза ($P \leq 0,05$) количества палочкоядерных и в 1,54 раза сегментоядерных нейтрофилов ($P \leq 0,001$). При дозах 6,4-14,0 снижалось в 1,68 раза ($P \leq 0,05$) количество базофилов.

В группе №4 (16,6-21,4 мГр) в составе гранулоцитов отмечались юные формы нейтрофилов, их количество превышало контрольную группу на 2,67 % ($P \leq 0,001$). Количество палочкоядерных нейтрофилов снизилось в 1,15 раза ($P \leq 0,05$), сегментоядерных – в 1,58 раза ($P \leq 0,001$). При этом

выявлено снижение эозинофилов в 1,44 раза (0,41 %) ($P \leq 0,05$), базофилов – в 1,92 раза ($P \leq 0,05$).

В группе № 5 (31,9 мГр) установлено статистически значимое увеличение на 2,63 % юных форм ($P \leq 0,001$) и в 1,49 раза сегментоядерных нейтрофилов ($P \leq 0,001$) относительно интактного контроля.

В профиле гранулоцитов периферической крови группы №6 (50,9-52,2 мГр) отмечено увеличение на 3,87 % юных форм нейтрофилов ($P \leq 0,001$), с одновременным снижением в 2,29 раза (на 21,53 %) количества сегментоядерных клеток ($P \leq 0,001$) относительно контрольной группы. При этом выявлено снижение в 1,53 раза (0,46 %) количества эозинофилов ($P \leq 0,05$). Количество базофилов снижалось в 2,04 раза (на 0,49 %) ($P \leq 0,05$) относительно данных интактного контроля.

В группе № 7 (62,3-63,2 мГр) отмечалось увеличение содержания на 4,47 % юных форм нейтрофилов ($P \leq 0,001$) и в 1,75 раза ($P \leq 0,001$) количества палочкоядерных нейтрофилов, но снижение в 2,97 раза (на 25,39 %) сегментоядерных нейтрофилов ($P \leq 0,001$).

В группе №8 (92,6 мГр) выявлено увеличение на 4,63 % юных форм нейтрофилов ($P \leq 0,001$) и в 1,67 раза ($P \leq 0,001$) количества палочкоядерных нейтрофилов при одновременном снижении в 2,3 раза (на 21,63 %) сегментоядерных нейтрофилов ($P \leq 0,001$). В этой группе установлено снижение в 2,66 раза (на 0,83 %) содержания эозинофилов ($P \leq 0,01$), относительно данных интактного контроля. В группе № 9 (355,6 мГр) в лейкоцитарном профиле возрастало содержание юных форм нейтрофилов на 5,0 % ($P \leq 0,001$), на 6,16 % ($P \leq 0,001$) число палочкоядерных нейтрофилов, при этом снижалось количество сегментоядерных нейтрофилов в 5,28 раз ($P \leq 0,001$) относительно данных интактного контроля.

Таблица 2 – Гранулоциты при воздействии малых доз трития

| Группа | Нейтрофилы | | | Эозинофилы | Базофилы |
|---------------------------|--------------|-------------|---------------|------------|------------|
| | Ю | П | С | | |
| Референтные значения [11] | 0 | 5-8 | 35-39 | 1-6 | 0-4 |
| Интактный контроль | 0 | 6,59±0,26 | 38,26±1,25 | 1,33±0,15 | 0,96±0,15 |
| Опытная №1 | 1,44±0,12*** | 6,20±0,13 | 30,89±0,37*** | 1,50±0,07 | 0,86±0,06 |
| Опытная №2 | 1,71±0,2*** | 5,57±0,23** | 29,50±0,45*** | 1,58±0,13 | 0,67±0,13 |
| Опытная №3 | 2,06±0,17*** | 5,92±0,11* | 24,80±0,66*** | 1,14±0,10 | 0,57±0,09* |
| Опытная №4 | 2,67±0,20*** | 5,75±0,29* | 24,29±0,62*** | 0,92±0,11* | 0,50±0,12* |
| Опытная №5 | 2,63±0,26*** | 7,25±0,37 | 25,63±0,56*** | 1,25±0,16 | 0,88±0,30 |
| Опытная №6 | 3,87±0,39*** | 7,00±0,61 | 16,73±1,58*** | 0,87±0,12* | 0,47±0,17* |

При определении профиля агранулоцитов установлено, что в группе №1 (доза до 2,6 мГр) увеличивается в 1,12 раза ($P \leq 0,001$) количество лимфоцитов. В группе №2 (поглощенная доза 3,3-4,2 мГр) количество моноцитов снижалось в 1,34 раза ($P \leq 0,05$) и аналогично группе №1 увеличивалось в 1,17 раза количество лимфоцитов ($P \leq 0,001$), относительно интактного контроля (табл. 3).

В группе № 3 (доза 6,4-14,0 мГр) количество моноцитов снижалось в 1,33 раза ($P \leq 0,05$), ана-

логично группе №2 увеличивалось в 1,25 раза количество лимфоцитов ($P \leq 0,001$) по сравнению с данными интактного контроля. В группе № 4 (доза 16,6-21,4 мГр) выявлено снижение количества моноцитов – в 2,35 раза ($P \leq 0,001$) и увеличение в 1,27 раза ($P \leq 0,001$) содержания лимфоцитов. В группе №5 (поглощенная доза 31,9 мГр) определено снижение в 2,23 раза количества моноцитов ($P \leq 0,001$), с одновременным увеличением в 1,2 раза количества лимфоцитов ($P \leq 0,001$). В



группе №6 (50,9-52,2 мГр) выявлено снижение в 3,15 раза количества моноцитов ($P \leq 0,001$), в этой группе зафиксировано увеличение в 1,38 раз (на 19,28 %) количества лимфоцитов ($P \leq 0,001$) относительно интактного контроля. В группе №7 (62,3-63,2 мГр) установлено увеличение в 1,32 раз (на 16,29 %) количества лимфоцитов ($P \leq 0,001$) по сравнению с интактной контрольной группой. В группе

№8 (доза 92,6 мГр) выявлено снижение в 2,65 раза количества моноцитов ($P \leq 0,001$), при этом зафиксировано увеличение в 1,29 раза количества лимфоцитов ($P \leq 0,001$) (табл. 3). В группе №9 (поглощенная доза 355,6 мГр) количество моноцитов снижалось в 3,34 раза ($P \leq 0,001$) и возрастало число лимфоцитов на 21,1 % ($P \leq 0,001$) относительно значений интактного контроля.

Таблица 3 – Агранулоциты при воздействии малых доз трития

| Группа | Моноциты | Лимфоциты |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| Референтные значения [11] | 1-3 | 40-62 |
| Интактный контроль | $1,67 \pm 0,13$ | $51,19 \pm 1,22$ |
| Опытная №1 | $1,55 \pm 0,07$ | $57,48 \pm 0,39^{***}$ |
| Опытная №2 | $1,25 \pm 0,12^*$ | $59,96 \pm 0,56^{***}$ |
| Опытная №3 | $1,26 \pm 0,10^*$ | $64,24 \pm 0,62^{***}$ |
| Опытная №4 | $0,71 \pm 0,15^{***}$ | $65,17 \pm 0,71^{***}$ |
| Опытная №5 | $0,75 \pm 0,15^{***}$ | $61,63 \pm 0,56^{***}$ |
| Опытная №6 | $0,53 \pm 0,13^{***}$ | $70,47 \pm 1,73^{***}$ |
| Опытная №7 | $1,70 \pm 0,13$ | $67,48 \pm 1,07^{***}$ |
| Опытная №8 | $0,63 \pm 0,18^{***}$ | $66,13 \pm 1,88^{***}$ |
| Опытная №9 | $0,50 \pm 0,20^{***}$ | $72,25 \pm 1,37^{***}$ |

Следовательно, при воздействии трития в дозе до 356 мГр на организм кроликов в периферической крови кроликов формируются специфические изменения в лейкоцитарном профиле крови: образование юных форм нейтрофилов и уменьшение числа сегментоядерных нейтрофилов. Воздействие малых доз радиации вызывает эритроцитоз, лимфоцитоз, что говорит об активации гемопоэза в организме кроликов.

В работе иммунологическим методом выявлена динамика фагоцитарного индекса, который

отражает фагоцитарную активность лейкоцитов. Изменения фагоцитарной активности клеток периферической крови носили нестабильный характер и имели дозозависимость аналогично гематологическим показателям. В первой и второй опытных группах установлено заметное достоверное снижение фагоцитарной активности клеток крови: в 1-й группе она снизилась в 1,1 раза ($P \leq 0,05$), во 2-й группе – в 1,08 раза ($P \leq 0,05$) относительно данных интактного контроля (рис. 2).

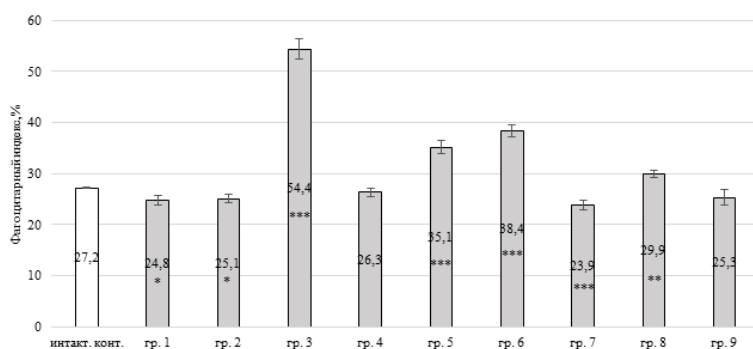


Рис. 2. – Фагоцитарный индекс клеток крови: * – $P < 0,05$, ** – $P < 0,01$, *** – $P < 0,001$ по отношению к интактному контролю

Fig. 2. – Phagocytic index of blood cells: * – $P < 0,05$, ** – $P < 0,01$, *** – $P < 0,001$ relative to intact control

Установлено увеличение фагоцитарного индекса клеток периферической крови в группе №3 (6,4-14,0 мГр) в 2 раза ($P \leq 0,001$) относительно интактного контроля. В группе №4 (16,6-21,4 мГр) фагоцитарная активность клеток крови находилась в диапазоне контрольных значений. С дозы 31,9 мГр (группа №5) регистрируется увеличение фагоцитарной активности, в этой группе она увеличилась в 1,29 раза ($P \leq 0,001$), в группе №6 (поглощенная доза 50,9-52,2 мГр) в 1,41 раза ($P \leq 0,001$) относительно данных интактного контроля.

В группе №7 (62,3-63,2 мГр) наблюдалось резкое снижение фагоцитарного индекса в 1,14 раз

($P \leq 0,001$) относительно контрольных значений. В группе №8 (92,6 мГр) регистрировалось повышение фагоцитарной активности клеток крови в 1,1 раза ($P \leq 0,01$) относительно контрольных значений. Установленная динамика фагоцитарной активности клеток периферической крови кроликов при тритиевом действии в диапазоне субклинических значений соответствует теории нелинейной бимодальной зависимости.

Обсуждение

Воздействие малых доз ^3H на организм кроликов не изменяло клинические показатели, однако выявлено изменение гематологических показателей – общего содержания форменных элементов



крови, модификации лейкоцитарного профиля [15]. Таким образом, малые дозы НТО у кроликов формируют характерные изменения в лейкоцитарном профиле крови. НТО до 355,6 мГр вызывает образование юных форм нейтрофилов, снижение количества сегментоядерных нейтрофилов. Воздействие малых доз радиации вызывает эритроцитоз, лимфоцитоз, что говорит об активации гемопоэза в организме кроликов. В исследовании Н.В. Кулаковой изучалось воздействие экстракта элеутерококка на кроликов, подвергшихся внешнему гамма-облучению в дозе 400 Р, также наблюдался в контроле после облучения лейкоцитоз, похожие изменения наблюдались в нашем эксперименте при воздействии трития до 355,6 мГр кроме дозы 31,9 мГр. Таким образом, облучение вызывало как количественные, так и качественные изменения в клетках крови [18].

Белобородова Н. Л. с соавторами изучали кроветворение в ходе хронического эксперимента, в результате установлена периодичность изменений показателей периферической крови, выявлена периодичность возникновения лейкоцитоза, лимфоцитоза, сменяющихся лейкопенией, лимфопенией. В нашем случае при воздействии НТО на организм кроликов возникал лейкоцитоз и лимфоцитоз. При хроническом воздействии ^{90}Sr , который нарушает эритро- и лейкопоэз, ^{60}Co в начальном периоде воздействия оказывает влияние на красную кровь, временно стимулируя эритропоэз, также как НТО воздействует на периферическую кровь при всех изучаемых нами дозах. ^{134}Cs , диффузно распространяющийся в организме, уже в ранних стадиях воздействия нарушает лимфопоэз, НТО стимулирует лимфопоэз. ^{106}Ru , концентрирующийся в значительной степени в костях и почках, нарушает процессы кроветворения и функцию почек, что подтверждено изменениями АСТ и АЛТ в настоящей работе [19].

Буркина Л. Н. изучала влияние камполонна на кроветворную систему. У подопытных животных развивался более высокий лейкоцитоз, главным образом за счет зрелых форм нейтрофилов, в то время как лейкоцитоз у контрольных животных (собак, кроликов) был менее выражен и обуславливался в основном увеличением молодых форм нейтрофилов (юных и палочкоядерных) [20]. В наших исследованиях установлено, что с увеличением поглощенной дозы у кроликов увеличивалось количество юных и палочкоядерных нейтрофилов в крови, что согласуется с ранее проведенными исследованиями на поголовье крупного рогатого скота [21].

В работе установлено, что субклинические дозы трития негативно влияют на организм, в частности на фагоцитарный индекс клеток крови, изменения имеют нелинейную бимодальную зависимость, при применении радиопротекторов фагоцитарный индекс возвращается в диапазон контрольных значений. Снижение фагоцитарной активности клеток периферической крови описаны многими авторами.

Заключение

Воздействие трития не оказывало значитель-

ного влияния на организм кроликов: температура тела, частота дыхательных движений и число сердечных сокращений находились в пределах нормы для данного вида животных, внешних изменений не установлено. При воздействии трития в субклинических дозах изменялся морфологический состав крови: изменение количества эритроцитов, лейкоцитов, лейкоцитарной формулы (включая появление юных форм нейтрофилов) и количества гемоглобина. Выявлено не пропорциональное изменение фагоцитарной активности лейкоцитов при росте дозы. Установленные изменения подтверждают теорию о бимодальной зависимости изменений при воздействии радиации в малых дозах.

В результате проведенных исследований можно выделить диапазон поглощенных доз 31,9-92,6; в этом интервале в периферической крови регистрируется увеличение гемоглобина, эритроцитоз, лимфоцитоз, в лейкоцитарном профиле рост числа юных и палочкоядерных нейтрофилов, снижение количества сегментоядерных нейтрофилов. В периферической крови кроликов при воздействии трития в дозе 63 мГр резко снижался фагоцитарный индекс, что нами определяется как негативный фактор тритиевого воздействия. Проведенные исследования дополняют массив данных по влиянию малых доз ионизирующего излучения на многоклеточный организм, описывают действие трития в дозе до 355,6 мГр на гематологические показатели и фагоцитарную активность клеток крови кроликов. Результаты исследования могут быть использованы при реконструкции тритиевой нагрузки на животных.

Список источников

1. Булдаков, Л.А. Радиационное воздействие на организм – положительные эффекты / Л.А. Булдаков, В.С. Калистратова. – Москва : Информ-Атом, 2005. – 247 с.
2. Асаенко, И.С. Радиационная безопасность : учеб. пособие для студ. техн. спец. / И.С. Асаенко, А.И. Навоша. – Минск, 2004.
3. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года / под ред. Ю.А. Изразля. – М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2013. – 140 с.
4. Линге И. И., Крышева И. И. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» / И. И. Линге и И. И. Крышева — М., 2021. — 555 с. : ил.
5. Николин, О. А. Тритий в водных экосистемах Уральского региона: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.02.08 / Николин Олег Анатольевич. – Пермь, 2008. – 21 с.
6. Чеботина, М. Я. Тритий. Теория, практика, последствия : монография / Л. Г. Бондарева, М. Я. Чеботина, С. Ю. Артамонова, И. Г. Тананаев. Апатиты : Изд-во Кольского научного центра, 2024. 359 с. : ил.
7. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Volume I. Annex A. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake



and Tsunami. United Nations. New York. 2014. 322 pp.

8. Бондарева Л. Г., Чеботина М. Я., Артамонова С. Ю. и др. Тритий. Теория, практика, последствия : монография / Л. Г. Бондарева, М. Я. Чеботина, С. Ю. Артамонова, И. Г. Тананаев. Апатиты : Изд-во Кольского научного центра, 2024. 359 с.

9. Straume T, Carsten AL. Tritium radiobiology and relative biological effectiveness. *Health Phys.* 1993 Dec;65(6):657-72. DOI: 10.1097/00004032-199312000-00005. PMID: 8244712.

10. Роднева С.М., Сычева Л.П., Максимов А.А., Жорова Е.С., Цишнатти А.А., Тищенко Г.С., Федотов Ю.А., Трубоченкова Т.М., Яшкина Е.И., Гурьев Д.В., Барчуков В.Г. Генотоксический эффект оксида трития и 3 Н-тимидина в селезенке и костном мозге крыс Wistar при длительном поступлении с питьевой водой // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2024. Т. 69. № 5. С. 15–20. DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-5-15-20

11. Quan Y, Tan Z, Yang Y, Deng B, Mu L. Prolonged effect associated with inflammatory response observed after exposure to low dose of tritium β -rays. *Int J Radiat Biol.* 2020 Aug;96(8):972-979. DOI:10.1080/09553002.2020.1767817. Epub 2020 May 29. PMID: 32394793.

12. Iketani M, Ohsawa I. Molecular hydrogen as a neuroprotective agent. *Curr Neuropharmacol* 2017–V.15–P.24–31.

13. Гурьев Д.В., Кочетков О.А., Барчуков В.Г., Осипов А.Н. Биологические эффекты органических и неорганических соединений трития. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2020;65(2):5-10. DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-2-5-10

14. Bertho JM, Kereselidze D, Manens L, Culeux C, Magneron V, Surette J, Blimkie M, Bertrand L, Wyatt H, Souidi M, Dublneau I, Priest N, Jourdain JR. Hto, Tritiated Amino Acid Exposure and External Exposure Induce Differential Effects on Hematopoiesis and Iron Metabolism. *Sci Rep.* 2019 Dec 27;9(1):19919.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Buldakov, L.A. *Radiacionnoe vozdejstvie na organizm – polozhitel'nye jeffekty* / L.A. Buldakov, V.S. Kalistratova. – Moskva :Inform–Atom, 2005. – 247 s.
2. Asaenok, I.S. *Radiacionnaja bezopasnost' : ucheb. posobie dlja stud. tehn. spec.* / I.S. Asaenok, A.I. Navosha. – Minsk, 2004.
3. *Atlas Vostochno-Ural'skogo i Karachaevskogo radioaktivnyh sledov, vkluchaja prognoz do 2047 goda / pod red. Ju.A. Izrajelja.* – M.: IGKJe Rosgidrometa i RAN, Fond «Infosfera» – NIA-Priroda, 2013. – 140 s.
4. Linge I. I., Krysheva I. I. *Radiojeologicheskaja obstanovka v regionah raspolozhenija predpriyatij Gosudarstvennoj korporacii po atomnoj jenergii «Rosatom»* / I. I. Linge i I. I. Krysheva — M., 2021. — 555 s. : il.
5. Nikolin, O. A. *Tritij v vodnyh jekosistemah Ural'skogo regiona: avtoref. dis. kand. biol. nauk: 03.02.08 / Nikolin Oleg Anatol'evich.* – Perm', 2008. – 21 s.
6. Chebotina, M. Ja. *Tritij. Teorija, praktika, posledstvija : monografija* / L. G. Bondareva, M. Ja. Chebotina, S. Ju. Artamonova, I. G. Tananaev. Apatity : Izd-vo Kol'skogo nauchnogo centra, 2024. 359 s. : il.
7. UNSCEAR. *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Volume I. Annex A. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami.* United Nations. New York. 2014. 322 pp.
8. Bondareva L. G., Chebotina M. Ja., Artamonova S. Ju. i dr. *Tritij. Teorija, praktika, posledstvija : monografija* / L. G. Bondareva, M. Ja. Chebotina, S. Ju. Artamonova, I. G. Tananaev. Apatity : Izd-vo Kol'skogo nauchnogo centra, 2024. 359 s.

doi: 10.1038/s41598-019-56453-4. PMID: 31882739; PMCID: PMC6934712.

15. Федотова, А.С. Влияние малых доз трития на показатели венозной крови кроликов / А. С. Федотова, А. А. Жигарев, Г. В. Макарская // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 2. С. 170-180. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-170-180.

16. Федотова А.С., Макарская Г.В., Жигарев А.А. Генерация АФК в крови кроликов при применении «Гумата калия 80» в качестве радиопротектора // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2025, Том 17, № 1, С. 93-99 DOI: 10.36508/RSATU.2025.81.63.013.

17. Смолин, С.Г. Физиология системы крови: метод. указания / С.Г. Смолин, Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – 50 с.

18. Кулакова Н. В. Влияние экстракта элеутерококка на развитие лучевой болезни у кроликов, вызванной внешним, гамма – облучением/ Н. В. Кулакова. – Красноярск, 2003. – 72 с

19. Серебряный, А. М. О механизме адаптивного ответа. Оценка способности лимфоцитов крови человека к радиационному адаптивному ответу с помощью разных критериев / А. М. Серебряный, М. М. Антошина, А. В. Алещенко [и др.] // *Цитология*. – 2008. – Т. 50. – №. 5. – С. 462.

20. Отдаленные последствия поражения малыми дозами радиоактивных веществ в хроническом эксперименте / Л. Н. Бурыкина, Д. И. Закутинский, Н. А. Краевский [и др.]. – Женева, 1958. – С. 17-31.

21. Федотова, А. С. Радиобиологические эффекты в периферической крови крупного рогатого скота при поглощенных дозах 4 и 5 МГр / А. С. Федотова, А. А. Жигарев, Г. В. Макарская // *Ученые записки учреждения образования Витебская орден Знак почета государственная академия ветеринарной медицины*. – 2022. – Т. 58, № 3. – С. 65-73. – DOI 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.



9. Straume T, Carsten AL. Tritium radiobiology and relative biological effectiveness. *Health Phys.* 1993 Dec;65(6):657-72. DOI: 10.1097/00004032-199312000-00005. PMID: 8244712.
10. Rodneva S.M., Sicheva L.P., Maksimov A.A., Zhorova Ye.S., Tsishnatti A.A., Tishchenko G.S., Fedotov Yu.A., Trubchenkova T.M., Yashkina Ye.I., Gurev D.V., Barchukov V.G. Genotoksicheskiy effekt oksida tritiya i 3 H-timidina v slezenke i kostnom mozge kris Wistar pri dlitelnom postuplenii s pitevoi vodoi // *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost.* 2024. T. 69. №5. S. 15–20. DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-5-15-20
11. Quan Y, Tan Z, Yang Y, Deng B, Mu L. Prolonged effect associated with inflammatory response observed after exposure to low dose of tritium β -rays. *Int J Radiat Biol.* 2020 Aug;96(8):972-979. DOI:10.1080/09553002.2020.1767817. Epub 2020 May 29. PMID: 32394793.
12. Iketa M, Ohsawa I. Molecular hydrogen as a neuroprotective agent. *Curr Neuropharmacol* 2017–V.15–P.24–31.
13. Gurev D.V., Kochetkov O.A., Barchukov V.G., Osipov A.N. Biologicheskie effekti organicheskikh i neorganicheskikh soedinenii tritiya. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost.* 2020;65(2):5-10. DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-2-5-10
14. Bertho JM, Kereselidze D, Manens L, Culeux C, Magneron V, Surette J, Blimkie M, Bertrand L, Wyatt H, Souidi M, Dublneau I, Priest N, Jourdain JR. Hto, Tritiated Amino Acid Exposure and External Exposure Induce Differential Effects on Hematopoiesis and Iron Metabolism. *Sci Rep.* 2019 Dec 27;9(1):19919. doi: 10.1038/s41598-019-56453-4. PMID: 31882739; PMCID: PMC6934712.
15. Fedotova, A.S. Vliyanie mal'kh doz tritiya na pokazateli venoznoy krovi krol'kov / A. S. Fedotova, A. A. Zhigarev, G. V. Makarskaya // *Vestnik KrasGAU.* 2024. № 2. S.170-180. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-170-180.
16. Fedotova A.S., Makarskaya G.V., Zhigarev A.A. Generatsiya AFK v krovi krol'kov pri primeneniі «Gumata kaliya 80» v kachestve radioprotektora // *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva.* 2025, Tom 17, № 1, S. 93-99 DOI: 10.36508/RSATU.2025.81.63.013.
17. Smolin, S.G. Fiziologiya sistemy krovi: metod. ukazaniya / S.G. Smolin, Krasnojarsk. gos. agrar. un-t. – Krasnojarsk, 2014. – 50 s.
18. Kulakova N. V. Vliyanie jekstrakta jeleuterochka na razvitie luchevoj bolezni u krol'kov, vyzvannoj vneshnim, gamma – oblucheniem / N. V. Kulakova. – Krasnojarsk, 2003. – 72 s
19. Serebrjanyj, A. M. O mehanizme adaptivnogo otveta. Ocenka sposobnosti limfocitov krovi cheloveka k radiacionnomu adaptivnomu otvetu s pomoshh'ju raznykh kriteriev / A. M. Serebrjanyj, M. M. Antoshhina, A. V. Aleshchenko [i dr.] // *Citologiya.* – 2008. – T. 50. – №. 5. – S. 462.
20. Otdalennye posledstviya porazheniya malymi dozami radioaktivnykh veshhestv v hronicheskom jeksperimente / L. N. Burykina, D. I. Zakutinskij, N. A. Kraevskij [i dr.]. – Zheneva, 1958. – S. 17-31.
21. Fedotova, A. S. Radiobiologicheskie jeffekty v perifericheskoy krovi krupnogo rogatogo skota pri pogloshhennykh dozah 4 i 5 mGr / A. S. Fedotova, A. A. Zhigarev, G. V. Makarskaya // *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaja ordena Znak pocheta gosudarstvennaja akademiya veterinarnoj mediciny.* – 2022. – T. 58, № 3. – S. 65-73. – DOI 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Федотова Арина Сергеевна, д-р биол. наук, профессор кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии с.-х. животных, институт прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет, krasfas@mail.ru

Жигарев Александр Алексеевич, ассистент кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии с.-х. животных, институт прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет, e-mail: Zhigarev98@mail.ru

Author information

Arina Sergeevna F., Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Internal Non-Communicable Diseases, Obstetrics, and Physiology of Agricultural Animals, Institute of Applied Biotechnology and Veterinary Medicine, Krasnoyarsk State Agrarian University, e-mail: krasfas@mail.ru

Aleksandr Alekseevich Z., Assistant Professor, Department of Internal Non-Communicable Diseases, Obstetrics, and Physiology of Agricultural Animals, Institute of Applied Biotechnology and Veterinary Medicine, Krasnoyarsk State Agrarian University, e-mail: Zhigarev98@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 11.11.2025; одобрена после рецензирования 10.12.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 11.11.2025; approved after reviewing 10.12.2025; accepted for publication 15.12.2025



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №.4 с. 104-109
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №.4, pp. 104-109

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 632.2
DOI: 10.36508/RSATU.2025.87.58.013

**МОЛОЧНОЕ ЖИВОТНОВОДСТВО В РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**Дмитрий Игоревич Филиппов¹, Елена Николаевна Правдина² ✉, Дмитрий Валериевич
Виноградов³**

¹ Министерство сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области, Рязань, Россия

^{2,3} ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

¹ filippov@ryazagro.ru

² epravdina@mail.ru

³ vdvrzn@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Целью исследования является проведение анализа текущего состояния молочного животноводства в Рязанской области для определения резервов наращивания производства молока на перспективу.

Методология. Информационной базой исследования послужили официальные данные Росстата, Рязаньстата и Министерства сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области за 2014-2024 гг. К данным применялись следующие методы: группировки, корреляционный анализ, вертикальный и горизонтальный анализ и др.

Результаты. В ходе анализа был выявлено, что на сельскохозяйственных предприятиях Рязанской области содержатся коровы преимущественно голштинской породы (91,4 % в 2024 году). За 2014-2024 гг. объемы производства молока выросли на 280,88 тыс. тонн или 76,9 %, поголовье коров в целом выросло на 6706 голов или на 11,6 %. Продуктивность коров за исследуемый период выросла по всем категориям хозяйств и достигла к концу анализируемого периода 8946 кг. Средний годовой надой на одну корову в племенных предприятиях превышает 10,6 тонн молока.

Заключение. Результаты исследований показали, что внедрение современных технологий и планомерная селекционно-племенная работа с поголовьем позволили региону стать одним из примеров успешного развития молочного животноводства. В дальнейшем успехи молочного скотоводства в области возможны за счет внедрения современных методов селекционно-племенной работы и одновременного расширения производственных и перерабатывающих мощностей.

Ключевые слова: молочное животноводство, продуктивность, рентабельность, поголовье коров

Для цитирования: Филиппов Д.И., Правдина Е.Н., Виноградов Д.В., Молочное животноводство в Рязанской области: текущее состояние и перспективы развития // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.104-109 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.87.58.013>

Original article

**DAIRY ANIMAL HUSBANDRY IN THE RYAZAN REGION: CURRENT STATE
AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

Dmitry I. Filippov¹, Elena N. Pravdina² ✉, Dmitry V. Vinogradov³



¹ Ministry of Agriculture and Food of the Ryazan Region, Ryazan, Russia

^{2,3} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

¹ filippov@ryazagro.ru

² epravdina@mail.ru

³ vdvrzn@mail.ru

Abstract.

Problem and goal. The purpose of the study is to analyze the current state of dairy farming in the Ryazan Region in order to identify opportunities for increasing milk production in the future.

Methodology. The study is based on official data from Rosstat, Ryazanstat, and the Ministry of Agriculture and Food of the Ryazan Region for the period 2014-2024. The following methods were used to analyze the data: grouping, correlation analysis, vertical and horizontal analysis, and others. **Results.** The analysis revealed that the agricultural enterprises in the Ryazan Region mainly keep Holstein cows (91.4% in 2024). From 2014 to 2024, milk production increased by 280.88 thousand tons or 76.9%, and the total number of cows increased by 6,706 heads or 11.6%. The productivity of cows increased across all categories of farms during the study period, reaching 8,946 kg by the end of the analyzed period. The average annual milk yield per cow in breeding enterprises exceeds 10.6 tons of milk.

Conclusion. The research results showed that the introduction of modern technologies and systematic breeding work with livestock have allowed the region to become an example of successful development of dairy farming. In the future, the success of dairy farming in the region can be achieved through the implementation of modern breeding methods and the simultaneous expansion of production and processing facilities.

Key words: dairy farming, productivity, profitability, number of cows

For citation: Filippov D.I., Pravdina E.N., Vinogradov D.V. Dairy animal husbandry in the ryazan region: current state and development prospects // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.4, P.104-109 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.87.58.013>

Введение

Молочное животноводство – важнейший сектор экономики, обеспечивающий продовольственный суверенитет страны. Рязанская область вносит существенный вклад в обеспечении населения таким ценным продуктом, как молоко [1,2]. Фактором, определяющим увеличение производство молока и повышение эффективности молочного скотоводства в стране, является доходность отрасли и необходимость её дальнейшего развития для удовлетворения потребностей населения в продуктах питания за счет собственных ресурсов, поэтому создание высокопродуктивных стад, отвечающих современным требованиям технологии и интенсивного уровня производства, является важнейшим.

В современных условиях на повышение продуктивных качеств скота влияют темпы его генетического совершенствования с использованием мировых генетических ресурсов. Последующие поколения скота должны эффективно использовать корма, обладать высокой скороспелостью и продуктивным долголетием, хорошими воспроизводительными качествами, высокой молочной продуктивностью и качеством молока при оптимальных затратах на его производство. Рост молочной продуктивности коров – приоритетная задача селекционеров, а воспроизводительная функция и длительность продуктивной жизни животных, характеризующая приспособленность скота к условиям содержания, напрямую сказывается на рентабельности производства молока [11].

Вышеназванные требования возможно реализовать только на фоне совершенствования кормления и кормовой базы, при строгом выполнении научно-обоснованного комплекса мероприятий по работе со стадом.

Материалы и методы исследования

Базой для исследования послужили официальные данные Росстата, Рязаньстата и Министерства сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области за 2014-2024 гг. К данным применялись следующие методы: группировки, корреляционный анализ, вертикальный и горизонтальный анализ и др.

Результаты исследований и их обсуждение

На текущий момент в Рязанском регионе действует 112 молочных хозяйств, которые обеспечивают производство товарного молока, и имеются 18 племенных организаций, которые специализируются на разведении высокопродуктивного скота (рис. 1).



Рис. 1 – Численность молочных хозяйств в Рязанской области в 2023 году, ед.

Fig. 1 – Number of dairy farms in the Ryazan region in 2023, units

Проведенный анализ (рис. 2) показал, что на сельскохозяйственных предприятиях Рязанской области содержатся коровы преимущественно голштинской породы (91,4 % в 2024 году).

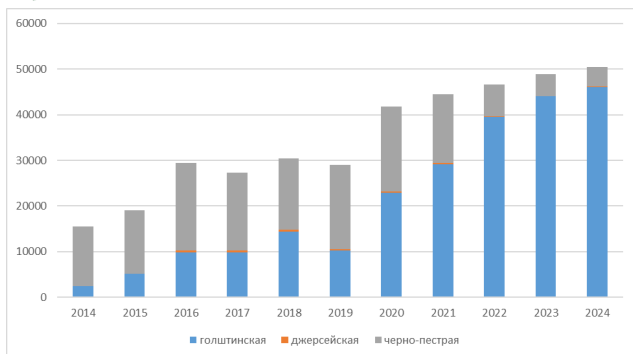


Рис. 2 – Численность коров Рязанской области в разрезе породного состава, гол. [4]

Fig. 2 – Number of cows in the Ryazan region by breed composition, heads [4]

Данная порода характеризуется высокой продуктивностью, что позволило Рязанской области существенно нарастить объемы производства молока за последние 10 лет (рис. 3). В рейтинге регионов по объемам производства молока Рязанская область в 2024 году заняла 12 место в России и 3 место в ЦФО, тогда как три года назад находилась на 15 месте в России и 4 месте в ЦФО.

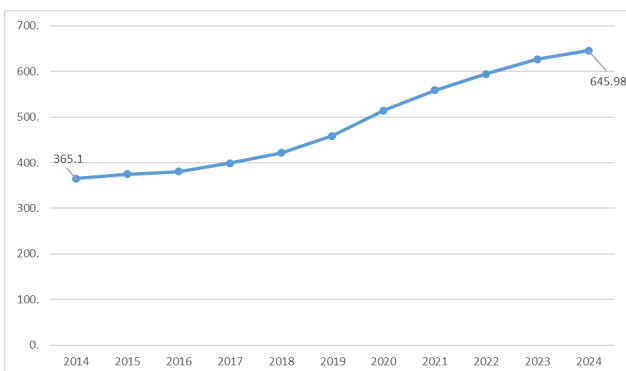


Рис. 3 – Динамика объемов производства молока в Рязанской области, тыс. тонн [5]

Fig. 3 – Dynamics of milk production volumes in the Ryazan region, thousand tons [5]

За 2014-2024 гг. объемы производства молока выросли на 280,88 тыс. тонн или 76,9 %. Это однозначно положительная тенденция, свидетельствующая о росте масштабов отрасли и обеспечении населения качественной продукцией. Объемы производства молока достигли таких значений, что превышают медицинские нормы потребления (рис. 4).

Если в 2014 году в Рязанской области на душу населения производили 320 кг молока, что практически соответствует установленной медицинской норме, то в 2024 году данный показатель вырос практически в два раза и составил 599,07 кг. Как результат, Рязанский регион стал вывозящим регионом, обеспечивающим молоком соседние области – Московскую, Липецкую, Владимирскую и др.

Рост масштабов молочной отрасли может быть обеспечен за счет двух факторов – экстенсивного и интенсивного. Однако тенденции

последних лет показывают, что большинство российских регионов сокращают поголовье коров. Рязанская область является исключением из правил (рис. 5).

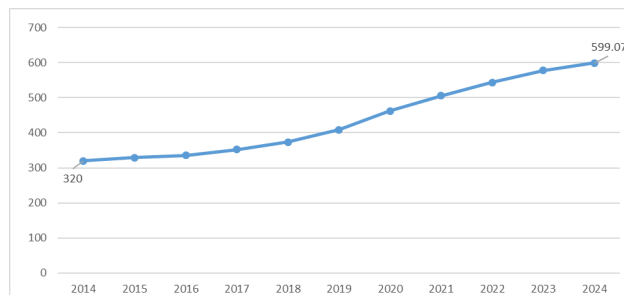


Рис. 4 – Производство молока на душу населения в Рязанской области, кг/год [13]

Fig. 4 – Milk production per capita in the Ryazan region, kg/year [13]

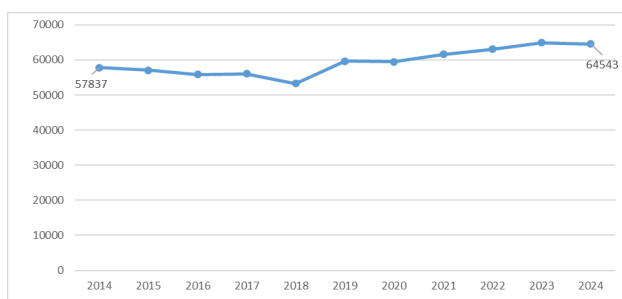


Рис. 5 – Динамика поголовья коров в Рязанской области, голов [6]

Fig. 5 – Dynamics of the number of cows in the Ryazan region, heads [6]

За 2014-2024 гг. поголовье коров в целом выросло 6706 голов или 11,6 %. Эта динамика обеспечивает дополнительный прирост производства молока. Вместе с тем, данный временной ряд не является детерминированным. 2014-2018 гг. ознаменовались понижающим трендом. Популяция животных поступательно снижалась и достигла своего минимума в 2018 году – 53242 голов. Однако, благодаря серьезной государственной поддержке, реализации крупных инвестиционных проектов по строительству мега-ферм данную тенденцию удалось переломить и поголовье коров стало увеличиваться и, прежде всего, в сельскохозяйственных организациях [3].

Значительный вклад в наращивании масштабов молочного скотоводства внес и интенсивный фактор (рис. 6). Продуктивность коров выросла за 2014-2024 гг. по всем категориям хозяйств и достигла к концу анализируемого периода 8946 кг. Средний годовой надой на одну корову в племенных предприятиях превышает 10,6 тонн молока, что ставит Рязанскую область в число лидеров по продуктивности в стране.

Однако наибольший рост продуктивности наблюдается у таких экономических субъектов, как сельскохозяйственные организации. У них надой на одну корову вырос за 10 лет на 4143 кг или на 78,4 %. Такой рост продуктивности обеспечива-



ется за счет использования высокопродуктивного скота, внедрение прогрессивной техники и технологий, а также оптимального кормления животных (табл. 1).

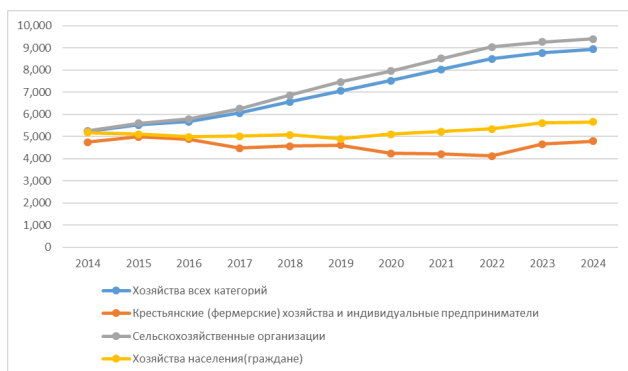


Рис. 6 – Надоемо молока на 1 корову в Рязанской области, кг/год [4]
Fig. 6 – Milk yield per cow in the Ryazan region, kg/year [4]

Анализ данных показал, что большинство товарных сельскохозяйственных предприятий преимущественно используют линейный молокопровод и содержат преимущественно черно-пеструю породу коров. Племенные хозяйства, напротив, используют высокопродуктивный скот голштинской породы и используют прогрессивные технологии – роботы и карусели. Это позволяет им получать более высокие надои и племенной молодняк, которые реализуются не только на территории РФ, но и за ее пределами. В 2025 году компания «Вакинское Агро» впервые отправила партии племенных нетелей в Казахстан – в Кустанайскую область. Успешные поставки в марте и октябре текущего года подтвердили высокое качество рязанского поголовья.

Молочное скотоводство Рязанской области является высокомаржинарной отраслью, обеспечивающей ведение расширенного воспроизводства за счет внутренних источников и серьезной государственной поддержки (рис. 7).

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели, характеризующие развитие молочного скотоводства в Рязанской области

| Показатели | | Количество хозяйств, ед. | Статус хозяйства | |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------|
| | | | товарное | племенное |
| Используемые технологии содержания | Линейный молокопровод | 49 | ✓ | ✓ |
| | Карусель | 9 | ✓ | ✓ |
| | Роботы | 2 | | ✓ |
| | Параллель и елочка | 15 | ✓ | ✓ |
| Породный состав | Черно-пестрая | 46 | ✓ | |
| | Голштинская | 23 | ✓ | ✓ |

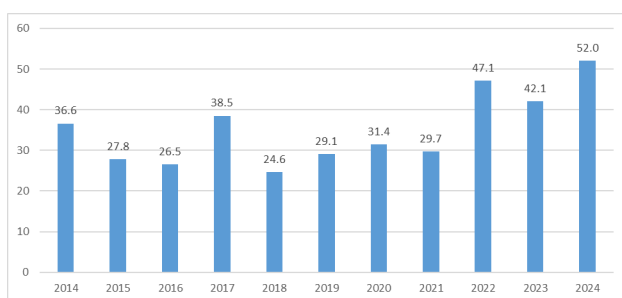


Рис. 7 – Рентабельность производства молока в Рязанской области, %
Fig. 7 – Profitability of milk production in the Ryazan region, %

Представленные данные показывают, что средняя доходность производства молока в Рязанской области превышает 30 %. Однако, за 2022-2024 гг. наблюдается серьезный рост рентабельности и в 2024 году данный показатель достиг абсолютного максимума – 52,0 %. Данное значение является индикатором высокой привлекательности отрасли и потенциала для ее развития на перспективу.

Вместе с тем, несмотря на высокую маржинальность, отрасли следует изыскивать резервы для совершенствования. Как уже отмечалось выше, рост отрасли в абсолютном и относительном выражении можно обеспечить за счет воздействия на экстенсивные и интенсивные детерминанты (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты корреляционного анализа зависимости объемов производства молока от продуктивности и поголовья коров

| Показатели | Объем производства молока, тыс. т | Надой на 1 корову, кг | Поголовье коров, гол. |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Объем производства молока, тыс. т | 1 | | |
| Надой на 1 корову, кг | 0,9897 | 1 | |
| Поголовье коров, гол. | 0,9016 | 0,8542 | 1 |



Проведенные расчеты показали, что исследуемые факторы существенно влияют на масштабы молочного скотоводства. Однако наибольшее влияние оказывает продуктивность коров. Внедрение в селекционно-племенную работу с поголовьем методов геномной оценки позволит в дальнейшем предприятиям проводить точечный отбор высоко-

копродуктивных животных для воспроизводства стада. Также следует обратить внимание на увеличение поголовья коров за счет строительства и модернизации молочно-товарных и мега-ферм. Тем более что государство оказывает поддержку в этом направлении (рис. 8).

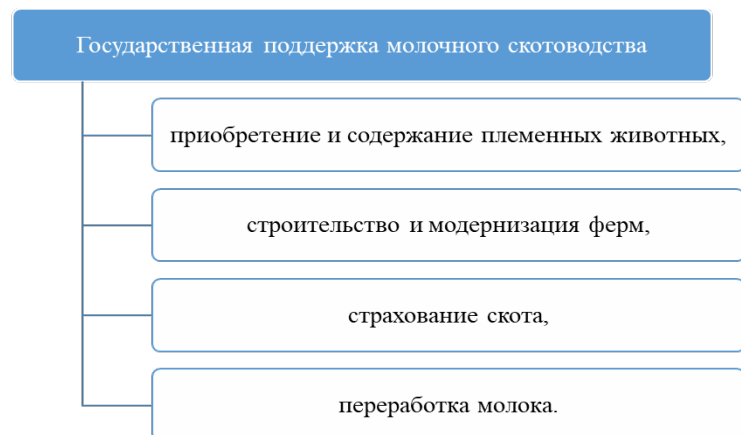


Рис. 8 – Виды государственной поддержки молочного скотоводства в Рязанской области

Fig. 8 – Types of state support for dairy farming in the Ryazan region

Заключение

Таким образом, молочное животноводство Рязанской области демонстрирует поступательный рост и развитие, которые обеспечиваются не только за счет государственной поддержки, но и, прежде всего, за счет технологий, планомерной селекционно-племенной работы с поголовьем и экспортного потенциала.

Рязанский регион является примером успешного опыта реализации импортозамещения в данном секторе экономики. Дальнейшее развитие молочного скотоводства в области возможно за счет одновременного расширения производственных и перерабатывающих мощностей.

Список источников

1. Белова Т.Н., Чернышов И.Н., Губанов Р.С. Продуктовые сегменты агропродовольственного рынка: единый подход или точечное государственное регулирование // Экономика региона. 2023. Т. 19. № 2. С. 511-523.
2. Карташова В. Россия – в числе ведущих производителей молока // Животноводство России. 2023. № 9. С. 32–35.
3. Лебедев Д. С. Институциональная трансформация социально-экономических систем: теория, методология анализа, практика применения во внешней торговле России. Москва: Проспект, 2021. 192 с.
4. Конкина В.С. К анализу новейшей ситуации на российском молочном рынке // Российский экономический журнал. 2021. № 1. С. 59–73. <https://doi.org/10.33983/0130-9757-2021-1-59-73>.
5. Ресурсы и использование молока и молокопродуктов [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 17.12.2024).
6. Объем продукции и индексы производства продукции сельского хозяйства по категориям хозяйств по Российской Федерации [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 27.11.2025).

7. Потребление основных продуктов питания по Российской Федерации [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 25.11.2025).

8. Соркин С. В. Основные тенденции современного состояния международной торговли молоком и молочной продукцией // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 5. Экономика. Социология. Биология. 2023. Т. 13, № 3. С. 32–41.

9. Ищук О.В. Современные тенденции и резервы роста развития молочного скотоводства в РФ // В сборнике: Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК. VI Международная научно-практическая конференция. Саратов, 2022. С. 135-140.

10. Воробьев С. П., Воробьева В. В. Ресурсы молока и молочной продукции России в условиях экспортоориентированной модели развития АПК // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 04. С. 522–530. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-04-522-530>.

11. Хорошайло Т. А., Алексеева Ю. А., Хаткова М. Х., Кувика И. С. Мероприятия по улучшению продуктивности дойного стада крупного рогатого скота // Вестник КрасГАУ. 2023. № 2 (191). С. 113–121.

12. Конкина В. С. Молочный рынок в контексте формирования агропродовольственной политики // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2022. № 4. С. 44–51.

13. Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: Приказ Минздрава РФ от 19.08.2016 г. № 614 (с изм.) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/> (дата обращения: 25.11.2025).

14. Китаев Ю. А. Особенности развития молочного скотоводства в России и за рубежом // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 1 (29). С. 167–172.



Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Belova T.N., Chernyshov I.N., Gubanov R.S. Produktovye segmenty agroprodovolstvennogo rynka: edinyy podkhod ili tochechnoe gosudarstvennoe regulirovanie // *Ekonomika regiona*. 2023. T. 19. № 2. S. 511–523.
2. Kartashova V. Rossiya – v chisle vedushchikh proizvoditeley moloka // *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2023. № 9. S. 32–35.
3. Lebedev D. S. *Institutsionalnaya transformatsiya sotsialno-ekonomicheskikh sistem: teoriya, metodologiya analiza, praktika primeneniya vo vneshney torgovle Rossii*. Moskva: Prospekt, 2021. 192 s.
4. Konkina V.S. K analizu noveyshey situatsii na rossiyskom molochnom rynke // *Rossiyskiy ekonomicheskii zhurnal*. 2021. № 1. S. 59–73. <https://doi.org/10.33983/0130-9757-2021-1-59-73>.
5. Resursy i ispolzovanie moloka i molokoproduktov [Elektronnyy resurs] // *Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki*. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (data obrashcheniya: 17.12.2024).
6. Obem produktsii i indeksy proizvodstva produktsii selskogo khozyaystva po kategoriym khozyaystv po Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] // *Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki*. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (data obrashcheniya: 27.11.2025).
7. Potrebleniye osnovnykh produktov pitaniya po Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] // *Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki*. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (data obrashcheniya: 25.11.2025).
8. Sorkin S. V. Osnovnye tendentsii sovremennogo sostoyaniya mezhdunarodnoy torgovli molokom i molochnoy produktsiei // *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly. Seriya 5. Ekonomika. Sotsiologiya. Biologiya*. 2023. T. 13, № 3. S. 32–41.
9. Ishchuk O.V. Sovremennye tendentsii i rezervy rosta razvitiya molochnogo skotovodstva v RF // *V sbornike: Ekonomiko-matematicheskie metody analiza deyatel'nosti predpriyatiy APK. VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. Saratov, 2022. S. 135–140.
10. Vorobev S. P., Vorobeva V. V. Resursy moloka i molochnoy produktsii Rossii v usloviyakh eksportoorientirovannoy modeli razvitiya APK // *Agrarnyy vestnik Urala*. 2024. T. 24, № 04. S. 522–530. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-04-522-530>.
11. Khoroshaylo T. A., Alekseeva Yu. A., Khatkova M. Kh., Kuvika I. S. Meropriyatiya po uluchsheniyu produktivnosti doynogo stada krupnogo rogatogo skota // *Vestnik KrasGAU*. 2023. № 2 (191). S. 113–121.
12. Konkina V. S. Molochnyy rynek v kontekste formirovaniya agroprodovolstvennoy politiki // *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2022. № 4. S. 44–51.
13. Ob utverzhdenii Rekomendatsiy po ratsionalnym normam potrebleniya pishchevykh produktov, otvlechayushchikh sovremennym trebovaniyam zdorovogo pitaniya: Prikaz Minzdrava RF ot 19.08.2016 g. № 614 (s izm.) [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/> (data obrashcheniya: 25.11.2025).
14. Kitaev Yu. A. Osobennosti razvitiya molochnogo skotovodstva v Rossii i za rubezhom // *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2021. № 1 (29). S. 167–172.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Филиппов Дмитрий Игоревич, канд. с.-х. наук, министр сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области, filippov@ryazagro.ru

Правдина Елена Николаевна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, pravdina@mail.ru

Виноградов Дмитрий Валериевич, д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой агрономии и защиты растений, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, vdvrzn@mail.ru

Author information

Filippov Dmitry I., Candidate of Agricultural Sciences, Minister of Agriculture and Food of the Ryazan Region, filippov@ryazagro.ru

Pravdina Elena N., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Science and Biology, Acting Rector, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, pravdina@mail.ru

Vinogradov Dmitry V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Agronomy and Plant Protection, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, vdv-rz@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 11.11.2025; одобрена после рецензирования 13.12.2025; принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 11.11.2025; approved after reviewing 13.12.2025; accepted for publication 15.12.2025



Вестник РГАТУ. 2025, т.17, №4, с. 110-116
Vestnik RGATU. 2025, Vol.17, №4, pp. 110-116

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.171
DOI: 10.36508/RSATU.2025.80.27.014

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

**Илья Юрьевич Богданчиков¹✉, Алексей Николаевич Бачурин², Дмитрий Олегович Олейник³,
Михаил Анатольевич Есенин⁴, Анна Владимировна Юдина⁵**

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ mc62@mail.ru

² bachurin62@mail.ru

³ oleynik_d_o@mail.ru

⁴ m_esenin@mail.ru

⁵ anna.yudina.2002@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В рамках реализации Доктрины продовольственной безопасности и Стратегии развития АПК РФ до 2030 года одной из ключевых задач аграриев является наращивание объемов производства. Это, в свою очередь, ведёт к повышению интенсивности использования машинно-тракторного парка, что актуализирует поиск резервов для роста производительности машинно-тракторных агрегатов (МТА). Активная цифровизация агропромышленного комплекса представляет обширный массив данных о работе, местоположении и техническом состоянии техники. Однако значительная часть этой информации часто не используется для решения прикладных производственных задач. Целью исследования было проанализировать работу отдельных машинно-тракторных агрегатов и предложить комплекс мероприятий по её оптимизации для увеличения производительности.

Методология. Исследования проводились на опытной агротехнологической станции УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ в 2025 году. Для анализа были взяты данные системы спутникового контроля и мониторинга «СКАУТ», установленного на тракторе АТМ-3180М «Terrio». Использовались данные: траектории движения трактора за любой рассматриваемый интервал времени, уровень топлива в баке, скорость движения трактора. В качестве критериев оптимизации были выбраны: сменная производительность МТА и коэффициент использования рабочих ходов.

Результаты. В результате разработки и внедрения комплекса организационно-технологических мероприятий, включающих оптимизацию маршрутов движения и изменение структуры поля, были достигнуты показатели: коэффициент использования времени смены для пахотного агрегата увеличен с 0,41-0,58 до 0,72, что позволило увеличить сменную производительность с 4,08-5,68 до 7,0 га/смену. Сменная производительность при предпосевной культивации возросла на 7,9 % – с 30,2 до 32,8 га/смену, а коэффициент рабочих ходов повысился на 17,7 % – с 0,73 до 0,86.

Заключение. Предложенные приёмы, основанные на глубоком анализе больших данных и геоинформационном моделировании, являются действенным инструментом для изыскания внутренних резервов сельхозпредприятий. Их внедрение способствует существенному росту производительности МТА.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, спутниковый мониторинг, оптимизация движения, координатное земледелие, цифровые технологии



Для цитирования: Богданчиков И.Ю., Бачурин А.Н., Олейник Д.О., Есенин М.А., Юдина А.В. Применение цифровых технологий для оптимизации работы машинно-тракторных агрегатов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.110-116 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.80.27.014](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.80.27.014)

Original article

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES TO OPTIMIZE OPERATION OF MACHINE AND TRACTOR UNITS

Ilya Yu. Bogdanchikov¹ ✉, Alexey N. Bachurin², Dmitry O. Oleinik³, Mikhail A. Yesenin⁴, Anna V. Yudina⁵

^{1,2,3,4,5} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

¹ mc62@mail.ru

² bachurin62@mail.ru

³ oleynik_d_o@mail.ru

⁴ m_esenin@mail.ru

⁵ anna.yudina.2002@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. As part of the implementation of the Food Security Doctrine and the Strategy for the Development of the Agro-Industrial Complex of the Russian Federation until 2030, one of the key tasks of farmers is to increase production volumes. This, in turn, leads to an increase in the intensity of the use of the machine-tractor fleet, which actualizes the search for reserves for increasing the productivity of machine-tractor units (MTA). Active digitalization of the agro-industrial complex provides an extensive array of data on the work, location and technical condition of equipment. However, much of this information is often not used to solve applied production problems. The purpose of the study was to analyze the operation of individual machine and tractor units and propose a set of measures to optimize it to increase productivity.

Methodology. The studies were carried out at the experimental agrotechnological station UNITS "Agrotechnopark" of the FSBEI HE RGATU in 2025. For analysis, data from the SCOUT satellite control and monitoring system installed on the ATM-3180M Terrion tractor were taken. Data were used: tractor trajectories for any considered time interval, fuel level in the tank, tractor speed. The following optimization criteria were selected: MTA shift performance and operating stroke utilization rate.

Results. As a result of the development and implementation of a set of organizational and technological measures, including optimization of traffic routes and changes in the field structure, indicators were achieved: the shift time utilization factor for the arable unit was increased from 0.41- 0.58 to 0.72, which made it possible to increase shift productivity from 4.08- 5.68 to 7.0 hectares/shift. Shift productivity during pre-sowing cultivation increased by 7.9 % - from 30.2 to 32.8 hectares/shift, and the coefficient of working moves increased by 17.7 % - from 0.73 to 0.86.

Conclusion. The proposed techniques, based on in-depth analysis of big data and geographic information modeling, are an effective tool for finding internal reserves of agricultural enterprises. Its implementation contributes to a significant increase in MTA productivity.

Key words: smachine and tractor unit, satellite monitoring, traffic optimization, coordinate farming, digital technologies

For citation: Bogdanchikov I.Yu., Bachurin A.N., Oleinik D.O., Yesenin M.A., Yudina A.V. Application of digital technologies to optimize operation of machine and tractor units // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No. 4, C.110-116 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.80.27.014](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.80.27.014)

Введение

В рамках реализации Доктрины продовольственной безопасности и Стратегии развития АПК РФ до 2030 года одной из ключевых задач аграриев является наращивание объёмов производства. Это, в свою очередь, ведёт к повышению интенсивности использования машинно-тракторного парка, что актуализирует поиск резервов для роста производительности машинно-тракторных агрегатов (МТА).

Активная цифровизация агропромышленного комплекса предоставляет обширный массив данных о работе, местоположении и техническом

состоянии техники [1-10]. Однако значительная часть этой информации часто не используется для решения прикладных производственных задач. Целью исследования было проанализировать работу отдельных машинно-тракторных агрегатов и предложить комплекс мероприятий по её оптимизации для увеличения производительности.

Работа выполнялась в рамках тематики НИР «Разработка технических решений для повышения эффективности утилизации соломы в качестве удобрения» по заказу министерства сельского хозяйства Российской Федерации в 2025 году.

Методика

Исследования проводились на опытной агротехнологической станции УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ в 2025 году. Для анализа были взяты данные системы спутникового контроля и мониторинга «СКАУТ», установленной на тракторе АТМ-3180М «Terrion». Эта система позволяет определить местоположение трактора, а также строить траекторию его движения за любой рассматриваемый интервал времени, а подключенные датчики передают дополнительную инфор-

мацию о состоянии техники, например, уровень топлива в баке.

Были рассмотрены и детально изучены все технологические операции, выполняемые данным трактором в течение года (рис. 1). Помимо оптимизации маршрутов транспортных операций исследовались способы его движения в составе машинно-тракторных агрегатов при выполнении различных сельскохозяйственных операций, особенно на полях со сложной геометрией.



Рис. 1 – Годовой отчет передвижения исследуемого трактора
Fig. 1 – Annual report on movement of tractor under research

В качестве критериев оптимизации были выбраны:

- сменная производительность МТА, $W_{см}$;
- коэффициент использования рабочих ходов, φ .

$$\begin{cases} W_{см} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_{см} \cdot \tau \\ \varphi = \frac{s_p}{s_p + s_x} = \frac{L_p \cdot n_p}{L_p \cdot n_p + L_x \cdot n_x} \end{cases} \quad (1)$$

где $W_{см}$ – сменная производительность МТА, га/смена;

B_p – рабочая ширина захвата МТА, м;

V_p – рабочая скорость МТА, м/с;

$T_{см}$ – продолжительность смены, ч;

τ – коэффициент использования времени смены,

$$\tau = \frac{T_p}{T_{см}};$$

T_p – время чистой работы МТА, ч;

φ – коэффициент рабочих ходов;

S_p – путь, пройденный машинно-тракторным агрегатом при выполнении полезной работы, м;

S_x – путь, пройденный машинно-тракторным агрегатом при выполнении холостой работы и переездов, м;

L_p – длина рабочего гона машинно-тракторного агрегата, м;

L_x – длина холостого участка агрегата, м;

n_p – количество рабочих ходов агрегата;

n_x – количество холостых ходов агрегата.

Результаты и обсуждение

Анализ работы пахотного машинно-тракторного агрегата АТМ-3180М+ПЛН-5-35 позволил выявить продолжительные участки времени смены, когда агрегат простаивал или выполнял холостую работу. На рисунке 2 представлен отчет о работе МТА в виде графиков изменения уровня топлива в баке и скорости движения трактора.

Продолжительность рассматриваемого рабочего дня составила 14 часов, это 2 семичасовые смены (на рисунке 2 отмечены красными прямо-



угольниками). Черными прямоугольниками выделены участки, на которых была произведена заправка (линия увеличения уровня топлива), переезды и холостые развороты (всплески зна-

чений скорости на графике, которые выходят за пределы значений рабочих скоростей V_p , установленных агротехническими требованиями выполняемой сельскохозяйственной операции).

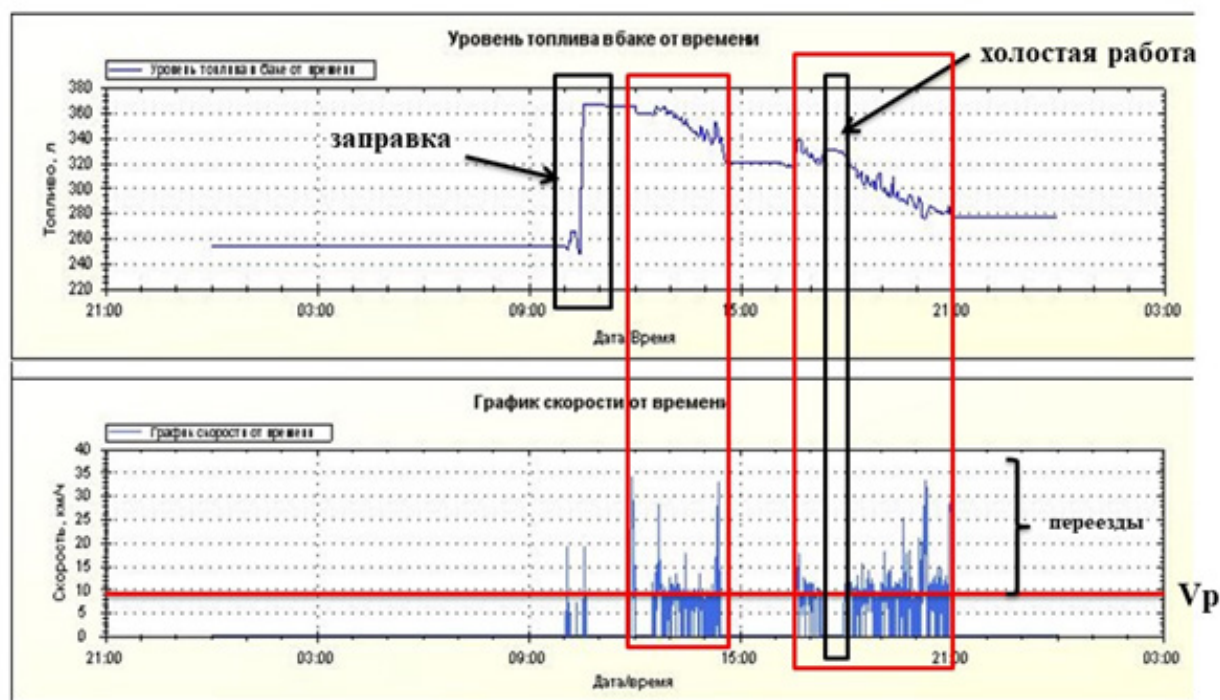


Рис. 2 – Отчёт о работе машинно-тракторного агрегата АТМ-3180М+ПЛН-5-35: уровень топлива в баке по времени (вверху); скорость трактора (внизу)

Fig. 2 – Report on operation of АТМ-3180М+ПЛН-5-35 machine-tractor aggregate: fuel level in tank vs. time (above); tractor speed (below)

За первую семичасовую смену МТА работал 2 часа 52 минуты, коэффициент использования времени смены составил 0,41. За вторую смену МТА работал 4 часа 3 минуты с коэффициентом использования времени смены 0,58. За первую смену производительность составила 4,08 га/смену, за вторую 5,68 га/смену, а при коэффициенте использования времени смены 0,8 (рекомендуемое значение) составила бы 7,84 га/смену. Получается, что в первую смену производительность была ниже на 47,96 %, а во вторую ниже на 25,26 % от возможной. Были предложены мероприятия по сокращению холостых переездов МТА и организации проведения технологического обслуживания, что позволило сократить время простоев и увеличить коэффициент использования времени смены до 0,72 (производительность увеличилась до 7 га/смену).

Анализ траекторий движения МТА по полю позволил выявить участки (площадью 5,47 % от общей площади обрабатываемого поля), сложные для обработки (на их обработку затрачивается более 45 % от времени на обработку всего поля). На рисунке 3 представлен фрагмент поля с наложенными траекториями движения МТА и отмеченным проблемным участком.

Анализ карт урожайности данного участка

показал, что урожайность на рассматриваемом участке ниже, в среднем, на 65-70 %, чем средняя урожайность данного поля [2, 6, 9]. Сложности рельефа способствуют развитию эрозионных процессов, что также отражается и на показателях по минеральному питанию растений. Время чистой работы (предпосевная культивация АТМ3180М+СП-11+2КПС-4+8БЗСС-1,0) на данном поле до оптимизации составляет 12,7 часов (при этом затрачивается до 5 дней на обработку поля) с продолжительностью смены 7 часов и сменной производительностью машинно-тракторного агрегата $W_{см} = 30,2$ га/см (коэффициент рабочих ходов $\phi = 0,73$).

Нами были смоделированы несколько вариантов движения МТА по данному полю, в результате было предложено разделить его на два рабочих участка площадью 24,24 га и 26,86 га соответственно (рис. 4) при этом «проблемный» участок площадью 3 гектара исключался из обработки и отходил для научного сектора. Также был исключен участок площадью 0,76 га, рельеф которого осложнён наличием микропонижений почвы (блюдцами). Геометрия рабочих участков позволяет организовать движения МТА вдоль наибольшей стороны, что способствует увеличению коэффициента рабочих ходов.



Рис. 3 – Проблемный участок, на обработку которого тратится более 45 % времени от обработки всего поля

Fig.3 – Problem plot processing of which takes more than 45 % of the time of processing of the entire field

Для расчета пройденного пути машинно-тракторным агрегатом при выполнении полезной работы на рабочем участке 2 (рис. 4), который имеет трапециевидную форму, нами предложено выражение:

$$S_p = \sum_{n_p=1}^{n_p=n} (L_p - (n_p - 1) \cdot \frac{B_p}{\tan \alpha}), \quad (2)$$

где α – угол у основания трапеции, ° (рис. 5).

В результате проведенных организационных мероприятий удалось сократить срок выполнения предпосевной культивации до двух дней, при этом время чистой работы составляет 10,9 часов (на 14,1 % меньше чем до оптимизации), продолжительность смены – 7 часов при сменной производительности $W_{см} = 32,8$ га/см (увеличилась на 7,9 %), коэффициент рабочих ходов увеличился на 17,7 % и составил $\phi = 0,86$.

Заключение

Проведенное исследование доказывает высокую эффективность применения цифровых технологий для оптимизации использования машинно-тракторных агрегатов. На основе анализа данных системы спутникового контроля и мониторинга техники можно выявить резервы для повышения производительности, основанные на выявлении причин потери рабочего времени на холостые переезды и нерациональное движение по полям со сложной конфигурацией.

В результате разработки и внедрения комплекса организационно-технологических мероприятий, включающих оптимизацию маршрутов движения и изменение структуры поля, были достигнуты показатели:

– коэффициент использования времени смены для пахотного агрегата увеличен с 0,41-0,58 до

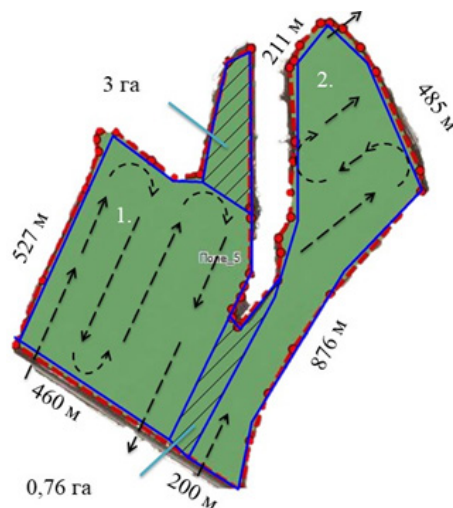


Рис. 4 – Поле после оптимизации движения машинно-тракторного агрегата: участок 1 площадью 24,24 га; участок 2 площадью 26,86 га
Fig.4 – Field after optimization of machine-tractor aggregate motion: plot 1 of 24.24 ha; plot 2 of 26.86 ha

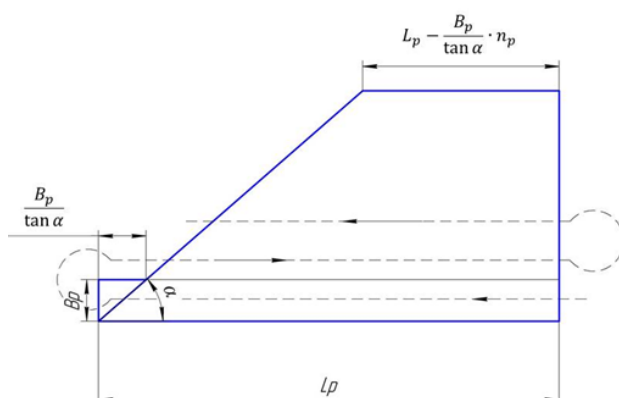


Рис. 5 – Схема для определения пройденного пути машинно-тракторным агрегатом при выполнении полезной работы на участке трапециевидной формы

Fig.5 – Scheme to define the distance covered by the machine-tractor aggregate when performing useful work on the trapezoidal plot

0,72, что позволило увеличить сменную производительность с 4,08-5,68 до 7,0 га/смену;

– сменная производительность при предпосевной культивации возросла на 7,9 % – с 30,2 до 32,8 га/смену, а коэффициент рабочих ходов повысился на 17,7 % – с 0,73 до 0,86.

Таким образом, предложенные приёмы, основанные на глубоком анализе больших данных и геоинформационном моделировании, являются действенным инструментом для изыскания внутренних резервов сельхозпредприятий. Их внедрение способствует существенному росту производительности МТА и может быть интерпретировано для оптимизации работы уборочных агрегатов.

Список источников

1. Сибиряев А.С. Цифровая трансформация и цифровые платформы в сельском хозяйстве / А.С. Сибиряев, В.Л. Зазимко, Р.Х. Додов // Вестник



НГИЭИ. - 2020. - № 12 (115). - С. 96-108.

2. Труфляк Е.В. Цифровые технологии в АПК / Е.В. Труфляк, Н.Ю. Курченко, В.А. Дидыч // Сельский механизатор. - 2018. - № 7-8. - С. 13-14.

3. Повышение и оценка эффективности машинно-тракторных агрегатов с помощью цифровых решений / И. А. Гайнуллин, И. В. Шабанов, И. И. Габитов, М. С. Доронин // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2024. - № 4(72). - С. 130-136. - DOI 10.31563/1684-7628-2024-72-4-130-136

4. Бачурин А.Н. Спутниковый контроль и мониторинг для оптимизации работы агрегатов / А.Н. Бачурин, Д.О. Олейник, И.Ю. Богданчиков // Сельский механизатор. - 2015. - № 7. - С. 4-5.

5. Bogdanchikov I.Y. Digital technology for the disposal of the non-cereal portion of the crop as fertilizer / I.Y. Bogdanchikov, V.A. Romanchuk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conference proceedings, Krasnoyarsk, Russia, 13-14 ноября 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. - Krasnoyarsk, Russia:

Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. - P. 42008. DOI: 10.1088/1755-1315/421/4/042008

6. Соловьев Д.А. Цифровые технологии в сельском хозяйстве / Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева, Р.Н. Бахтиев // Аграрный научный журнал. - 2019. - № 11. - С. 95-98.

7. Формирование оптимальных комплексов машин и оборудования в системе точного земледелия / А. И. Дерепаскин, Ю. В. Полищук, А. П. Комаров [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. - 2023. - № 2(46). - С. 57-69.

9. Черноиванов В.И. Цифровые технологии в АПК / В.И. Черноиванов // Техника и оборудование для села. - 2018. - № 5. - С. 2-4

10. Состояние и перспективы разработки системы оперативного управления производством сельскохозяйственного предприятия на основе цифровых технологий / Н. Т. Сорокин, С. В. Митрофанов, Н. Н. Грачев [и др.] // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2019. - № 2(50). - С. 137-141. - DOI 10.31563/1684-7628-2019-50-2-137-142.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Sibiryayev A.S. Cifrovaya transformaciya i cifrovyye platformy v sel'skom khozyajstve / A.S. Sibiryayev, V.L. Zazimko, R.X. Dodov // Vestnik NGIE'I. - 2020. - № 12 (115). - S. 96-108.

2. Truflyak E.V. Cifrovyye tehnologii v APK / E.V. Truflyak, N.Yu. Kurchenko, V.A. Didy'ch // Sel'skiy mexanizator. - 2018. - № 7-8. - S. 13-14.

3. Povy'shenie i ocenka e'ffektivnosti mashinno-traktorny'x agregatov s pomoshh'yu cifrovyy'x reshenij / I. A. Gajnullin, I. V. Shabanov, I. I. Gabitov, M. S. Doronin // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2024. - № 4(72). - S. 130-136. - DOI 10.31563/1684-7628-2024-72-4-130-136

4. Bachurin A.N. Sputnikovy'j kontrol' i monitoring dlya optimizacii raboty' agregatov / A.N. Bachurin, D.O. Olejnik, I.Yu. Bogdanchikov // Sel'skiy mexanizator. - 2015. - № 7. - S. 4-5.

5. Bogdanchikov I.Y. Digital technology for the disposal of the non-cereal portion of the crop as fertilizer / I.Y. Bogdanchikov, V.A. Romanchuk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conference proceedings, Krasnoyarsk, Russia, 13-14 noyabrya 2019 goda / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. - Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. - P. 42008. DOI: 10.1088/1755-1315/421/4/042008

6. Solov'ev D.A. Cifrovyye tehnologii v sel'skom khozyajstve / D.A. Solov'ev, L.A. Zhuravleva, R.N. Baxtiey // Agrarnyy'j nauchny'j zhurnal. - 2019. - № 11. - S. 95-98.

7. Formirovanie optimal'ny'x kompleksov mashin i oborudovaniya v sisteme tochnogo zemledeliya / A. I. Derepaskin, Yu. V. Polishhuk, A. P. Komarov [i dr.] // Vestnik Kurganskoy GSXA. - 2023. - № 2(46). - S. 57-69.

9. Chernoi Ivanov V.I. Cifrovyye tehnologii v APK / V.I. Chernoi Ivanov // Texnika i oborudovanie dlya sela. - 2018. - № 5. - S. 2-4

10. Sostoyanie i perspektivy` razrabotki sistemy` operativnogo upravleniya proizvodstvom sel'skoxozyajstvennogo predpriyatiya na osnove cifrovyy'x tehnologij / N. T. Sorokin, S. V. Mitrofanov, N. N. Grachev [i dr.] // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2019. - № 2(50). - S. 137-141. - DOI 10.31563/1684-7628-2019-50-2-137-142. Contribution of the authors:

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Богданчиков Илья Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», mc62@mail.ru



Бачурин Алексей Николаевич канд. техн. наук, доцент, декан инженерного факультета, зав. кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», bachurin62@mail.ru

Олейник Дмитрий Олегович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», oleynik_d_o@mail.ru

Есенин Михаил Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», m_esenin@mail.ru

Юдина Анна Владимировна, магистрант 2 курса по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», anna.yudina.2002@mail.ru

Author Information

Bogdanchikov Ilya Yu., Cand. Tech. Sciences, Associate professor, associate professor «Operation of the machine and tractor park», Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, mc62@mail.ru

Bachurin Alexey N., Cand. Tech. Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering, Head of the Department "Operation of the Machine and Tractor Park," Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, bachurin62@mail.ru

Oleinik Dmitry O., Cand. Tech. Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Operation of the Machine and Tractor Park, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, oleynik_d_o@mail.ru

Yesenin Mikhail A., Cand. Tech. Sciences, Associate Professor, of the Department of Operation of the Machine and Tractor Park, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, m_esenin@mail.ru

Yudina Anna 2 nd year student of the magistracy in the direction of training 35.04.06 "Agroengineering"; Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva university@rgatu.ru

Статья поступила в редакцию 20.10.2025; одобрена после рецензирования 25.11.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 20.10.2025; approved after reviewing 25.11.2025; accepted for publication 15.12.2025





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.311.51
DOI: 10.36508/RSATU.2025.54.94.015

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ, ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ЛАПЫ
КУЛЬТИВАТОРА В СИСТЕМЕ INVENTOR PRO**

**Отари Назирович Дидманидзе¹✉, Александр Вячеславович Бугаев² Хамзат Арсланбекович
Абдулмажидов³**

^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
г. Москва, Россия

¹ Didmanidze@rgau-msha.ru

² a.bugaev@rgau-msha.ru

³ abdulmajidov@rgau-msha.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Целью настоящего исследования было определение основных физико-механических характеристик разработанной конструкции лапы культиватора в системе Inventor Pro для ее дальнейших испытаний и внедрения.

Методология. Исследование проводили на основе разработанной в системе Inventor Pro конструкции лапы культиватора в лаборатории 3D-моделирования кафедры сельскохозяйственного строительства РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Лаповые культиваторы находят применение в процессе рыхления почвы и удаления сорняков в рамках предпосевной обработки почвенной среды. Различаются лаповые культиваторы полевые и культиваторы рыхлители. Основной характеристикой, влияющей на их выбор, является глубина обработки почвы. В первом случае диапазон глубины находится в пределах от 16 до 15 см, во втором до 25 см. Наибольшее распространение получают полевые культиваторы. Культиваторы рыхлители преимущественно используются при осенней обработке почвы, проводимой после сбора урожая для подготовки к весеннему посеву яровых культур в южных регионах. Модернизированная конструкция лапы культиватора разработана методами ассоциативного черчения в системе Inventor Pro, которые заключаются в предварительном формировании модели объемного рабочего органа и переводе ее в плоскость, т. е. подготовке технической документации на ее изготовление. Разработку и исследования лапы культиватора проводили с учетом того, что главной задачей является рыхление почвы и уничтожение сорняков, а второй задачей являлось формирование такой конфигурации рабочего органа, при которой тяговые сопротивления будут наименьшими. Проведены прочностные расчеты новой конструкции лапы культиватора, которые позволяют задавать оптимальную толщину всех частей конструкции, включая режущую кромку, поверхность выпучивания и участок крепления лапы к раме.

Результаты. В результате исследования, направленного на изучение возможностей новой конструкции лапы культиватора по качественному рыхлению, удалению сорняков при минимальных тяговых сопротивлениях и проведению анализа напряженного состояния, установлено, что технологические и прочностные характеристики во многом зависят от конфигурации и размеров детали, а также от материала для его изготовления. К технологическим характеристикам лапы культиватора относятся возможности уничтожения сорных растений в результате горизонтального перерезания корней растений на глубине 6–10 см, в некоторых случаях эта глубина может достигать 25 см. При этом важно учитывать, что площадь поперечного сечения лапы будет влиять на тяговые сопротивления машины особенно при работе машины со множеством лап на прицепной или навесной системе. В статье представлено исследование напряженного состояния лапы культиватора под действием нагрузок со стороны обрабатываемой среды. Основной характеристикой для принятия решения о возможности использования разработанной конструкции по надежности является коэффициент запаса прочности. Этот коэффициент для стальных деталей в предварительных расчетах принимается в диапазоне от 1,5 до 2,0 единиц. Полученные значения исследуемой характеристики, превышающие данный диапазон, говорят о повышенном расходе металла. Если значения коэффициента запаса прочности окажутся меньше указанного диапазона – то применение разработанной конструкции исключается. В этом случае необходимо применить более прочный сплав или увеличить размеры конструкции, если это позволяют технологические характеристики.

Заключение. Результаты исследования позволили определить технологические характеристи-



ки разработанной в системе Inventor Pro лапы культиватора, а также прочностные показатели. Использование отечественных или импортных компьютерных программ для проектирования, разработки и распечатки на объемных принтерах новых моделей конструкций лап культиватора определенно имеет меньшие затраты ресурсов по сравнению с изготовлением рабочего органа в натуральную величину и испытанием его в полевых условиях.

Ключевые слова: культиваторная лапа, разработка лапы, технологические характеристики, прочностные расчеты, анализ напряженного состояния, рыхление почв, удаление сорняков, метод оптимизация конструкции

Для цитирования: Дидманидзе О.Н., Бугаев А. В., Абдулмажидов Х.А. Разработка конструкции, прочностные расчеты и оптимизация формы лапы культиватора в системе Inventor Pro // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т17, №4, С.117-124 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.54.94.015>

Original article

DESIGN, STRENGTH, AND SHAPE OPTIMIZATION OF THE CULTIVATOR SHARE IN INVENTOR PRO

Otari N. Didmanidze¹ ✉, Alexander V. Bugaev², Khamzat A. Abdulmazhidov³

^{1,2,3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹ Didmanidze@rgau-msha.ru

² a.bugaev@rgau-msha.ru

³ abdulmajidov@rgau-msha.ru

Annotation.

Problem and goal. The purpose of this study was to determine the main physical and mechanical characteristics of the developed design of the cultivator foot in the Inventor Pro system for its further testing and implementation.

Methodology. The study was carried out on the basis of the design of the cultivator share developed in the Inventor Pro system in the 3D modeling laboratory of the Department of Agricultural Construction of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Share cultivators are used in the process of loosening the soil and removing weeds as part of pre-sowing cultivation of the soil environment. There are field paw cultivators and ripper cultivators. The main characteristic influencing their choice is the depth of tillage. In the first case, the depth range is from 16 to 15 cm, in the second up to 25 cm. Cultivators rippers are mainly used in autumn tillage carried out after harvest to prepare for the spring sowing of spring crops in the southern regions. The modernized design of the cultivator share was developed using associative drawing methods in the Inventor Pro system, which consist in the preliminary formation of a model of a three-dimensional working body and its transfer to a plane, i.e. the preparation of technical documentation for its manufacture. The development and research of the cultivator share was carried out taking into account the fact that the main task is loosening the soil and destroying weeds, and the second task was to form such a configuration of the working body in which the traction resistance will be the least. Strength calculations of the new design of the cultivator share have been carried out, which allow you to set the optimal thickness of all parts of the structure, including the cutting edge, the buckling surface and the area of attachment of the share to the frame.

Results. As a result of the study aimed at studying the capabilities of the new design of the cultivator share for high-quality loosening, removing weeds with minimal traction resistances and analyzing the stress state, it was found that technological and strength characteristics largely depend on the configuration and dimensions of the part, as well as on the material for its manufacture. The technological characteristics of the cultivator share include the ability to destroy weeds as a result of horizontal cutting of plant roots at a depth of 6-10 cm, in some cases this depth can reach 25 cm. It is important to consider that the cross-sectional area of the tines will affect the traction resistances of the machine, especially when a machine with multiple tines is running on a trailed or mounted system. The article presents a study of the stressed state of the cultivator foot under the influence of loads from the treated medium. The main characteristic for making a decision on the possibility of using the developed design in terms of reliability is the factor of safety. This coefficient for steel parts in preliminary calculations is taken in the range from 1.5 to 2.0 units. The obtained values of the studied characteristic, exceeding this range, indicate an increased consumption of metal. If the values of the safety factor are less than the specified range, then the use of the developed design is excluded. In this case, it is necessary to use a stronger alloy or increase the size of the structure, if the technological characteristics allow it.

Conclusion. The results of the study made it possible to determine the technological characteristics of the cultivator share developed in the Inventor Pro system, as well as strength indicators. The use of domestic or imported computer programs for designing, developing and printing new models of cultivator foot designs on volumetric printers definitely has less resources compared to the manufacture of the working body in full size and testing it in the field.



Key words: cultivator share, development of the share, technological characteristics, strength calculations, stress analysis, loosening of soils, weed removal, method of design optimization

For citation: Didmanidze O.N., Bugaev A.V., Abdulmazhidov Kh.A. Design, strength, and shape optimization of the cultivator share in inventor Pro. // Herald of the Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No. 4, P.117-124 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.54.94.015](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.54.94.015)

Введение

В процессе проектирования и разработки лаповых культиваторов необходимо учитывать условия их технологической эксплуатации. Лапы культиваторов могут иметь полольное и рыхлительное назначение. Глубина рыхления почвы зависит от влажности среды обработки, уровня корневой системы сорняков, а также их ботанического состава. Наибольшее распространение среди полевых культиваторов и культиваторов-рыхлителей получили конструкции стрельчатых лап. Такие лапы, которые не имеют хвостовика, крепятся к стойке рамы заклепками, а если лапы выполнены с хвостовиком – то с помощью болтов. Основными геометрическими характеристиками полольных лап являются: ширина захвата b ; ширина захвата в начале b_1 и в конце b_2 крыла лапы; угол раствора 2γ и крошения β . Поверхность лапы культиватора необходимо выполнить такой, чтобы корни вырванных сорняков скользили по лезвию, а угол γ задавался таким, чтобы обеспечить скользящее резание. Если такое условие не выполняется, то на поверхности лапы накапливаются растения и почва, которые препятствуют подрезанию сорняков.

При увеличении ширины лапы увеличивается площадь, обрабатываемая рабочим органом, однако в этом случае произойдет и увеличение угла γ , что повлияет в свою очередь на тяговые сопротивления и эффективность резания сорняков. Кроме того, если использование лапы для среза сорняков в междурядье происходит в период роста культурного растения – то такое решение может подрезать и само культурное растение. В то же время если уменьшать угол γ то лапа оставляет после себя большое количество неподрезанных сорняков.

Важной характеристикой при работе культиваторов с рабочими органами в виде лап являются тяговые сопротивления. При их проектировании и эксплуатации необходимо обеспечивать, кроме качественных технологических характеристик, минимальные тяговые сопротивления, которые в целом влияют на расход топлива базовой машины или транспортно-энергетической установки, на износ деталей и конструкций, на прочность и надежность элементов. Для определения тяговых сопротивлений рабочих органов сельскохозяйственных машин используются формулы В.П. Горячкина. Некоторые параллели можно провести между процессом работы лапы культиватора как сельскохозяйственной машины и разработкой грунта строительной машиной, но все же это разные процессы. Для общего определения сопротивлений грунта резанию и копанию при разработке рабочими органами землеройных машин могут быть применены формулы Н.Г. Домбровского, в которых исследуемая величина зависит от

площади поперечного сечения разрабатываемого слоя грунта и коэффициента удельного сопротивления копанию. Этот коэффициент, в свою очередь, зависит от категории грунта. Условно почвы, обрабатываемые стрельчатыми лапами культиваторов, можно отнести к I и II категориям. Более высокие категории грунтов стрельчатыми лапами не разрабатываются [1, 2, 3, 4].

Однако нельзя рассматривать работу лапы культиватора как копание, поскольку копание – это сложный и энергоемкий процесс, состоящий из двух явлений: резания грунта и наполнения ковша. В работе лапы культиватора присутствует только первая часть этого процесса – резание. Рабочая операция рыхления стрельчатыми лапами совершается в процессе движения базовой машины, т. е. при подаче машины. Рабочее оборудование при этом может быть навесным или прицепным. При навесном рабочем оборудовании подъем и опускание осуществляется трехзвенной или четырехзвенной системой навески. В трехзвенной системе навески при изменении глубины резания меняется угол резания, в таком случае могут происходить изменения технологических параметров, а также увеличение тяговых сопротивлений. Поэтому наиболее всего для эксплуатации лаповых культиваторов подходит четырехзвенная система навески, при которой изменение глубины резания почвы никак не отражается в пространственном положении самого рабочего органа.

В тяговом расчете культиватора сопротивление резанию складывается из сопротивления отделению слоя почвы от массива (рыхлению), сопротивления трению почвы о поверхность лапы, сопротивления резанию сорняков на единицу длины режущей кромки. Кроме этого, дополнительное сопротивление создают накапливающиеся на лобовой и рабочей поверхности лапы частицы почвы и растительности. Общее сопротивление резанию можно определить, умножив данную величину для одной лапы на общее количество лап в конструкции культиватора. Здесь также необходимо отметить, что лапы культиватора могут быть установленны в несколько рядов, причем часто в шахматном порядке. В этом случае тяговые сопротивления, приходящиеся на лапы передних и последующих рядов, могут быть разными. Это связано с тем, что передний ряд лап культиватора работает при заблокированном резании, тогда как последующие разрабатывают почву при полублокированном или свободном резании, соответственно, на них будут возникать меньше тяговых сопротивлений, чем на передних. Полученные значения можно сравнить с тяговыми возможностями базового трактора и сделать выводы о возможности работы машины по тяговым условиям [5, 6, 7].

Материалы и методы исследования

В процессе выполнения работы применялись эмпирические, теоретические и смешанные методы исследования. В рамках эмпирических методов исследований проводились эксперименты и измерения. В рамках теоретических методов исследований проводился анализ данных и сравнение полученных значений.

В работе представлена новая конструкция лапы культиватора (рис. 1). Данная конструкция разработана в системе Inventor Pro с учетом требований по выполнению технологической операции, т. е., с обеспечением оптимальной величины рыхления и качественного срезания сорняковой растительности. Данные характеристики подтверждаются лобовой площадью поперечного сечения, которая в данной конструкции имеет минимальные значения, что позволяет производить технологическую операцию с минимальными тяговыми сопротивлениями. С другой стороны, заостренная режущая поверхность с углом резания в пределах $45-50^\circ$ позволяет удалять сорную растительность и исключить налипание почвы и растительности на поверхности лапы. Кроме того, в конструкции предусмотрена особенность самозатачивания режущей кромки в процессе длительной работы. Крепление к стойке рамы разработанной конструкции осуществляется заклепками или болтами.

Объемная конструкция лапы культиватора была создана в системе Inventor Pro, при этом использовались различные способы получения объемной детали. В данной программе определяются масс-инерционные характеристики конструкции, а также выполняется оптимизация детали с точки зрения целесообразного расхода металла при

ее изготовлении. В современных отечественных и импортных графических пакетах, предназначенных для машиностроительного черчения, таких как Компас, T-flex, Inventor Pro применяется метод ассоциативного черчения. Основное достоинство метода заключается в широких возможностях предварительного выполнения объемных элементов и быстром переводе их в плоскость, т. е. в подготовке технической документации на изготовление. Кроме того, представленные пакеты позволяют создавать большие сборки и презентации для их формирования. Применение этого метода позволяет значительно сократить временные затраты на конструирование [8, 9, 10].

Основной целью при разработке лапы культиватора являлось формирование такой конфигурации рабочего органа, при которой обеспечивается качественное выполнение технологической операции – рыхление почв, срезание и удаление сорняковой растительности при минимальных тяговых сопротивлениях.

Для достижения этой цели решены задачи по разработке новой конфигурации, эффективно выполняющей рыхление почвы и срезание растительности. В процессе проектирования лапы обеспечивалась ее оптимальная лобовая площадь, способствующая уменьшению тяговых сопротивлений.

На рисунке 2 представлены этапы проведения исследования одной из моделей лапы культиватора в системе Inventor Pro [11, 12, 13]

На первом этапе исследования конструкции лапы культиватора создана объемная модель, определены опорные зависимости и заданы нагрузки.

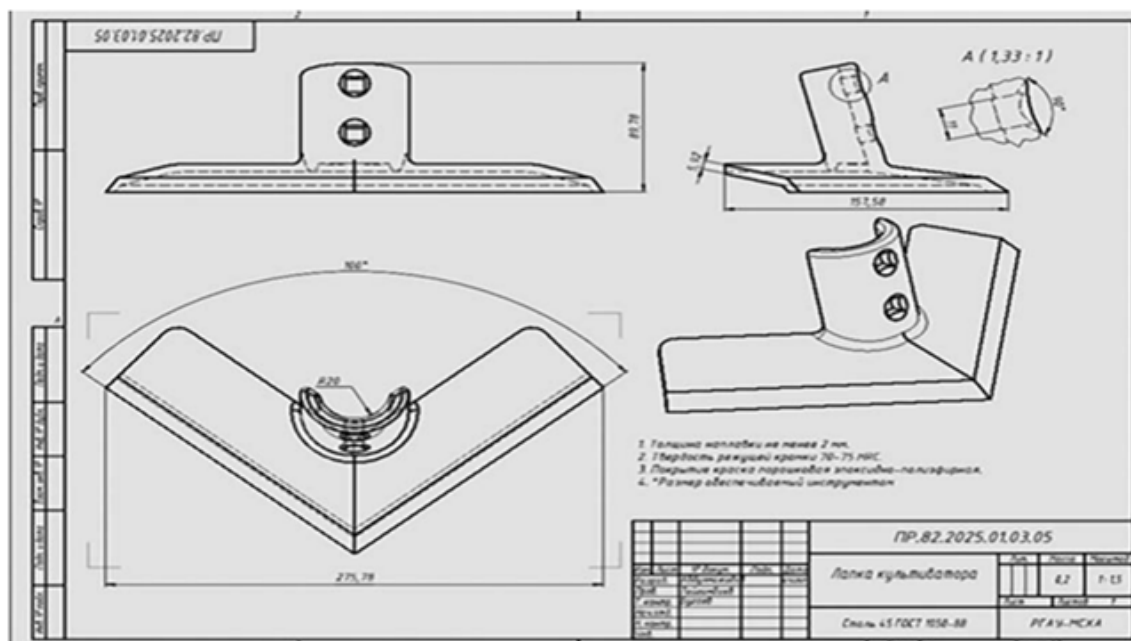


Рис. 1 – Разработанная конструкция лапы культиватора
Fig. 1 – Developed cultivator Share design

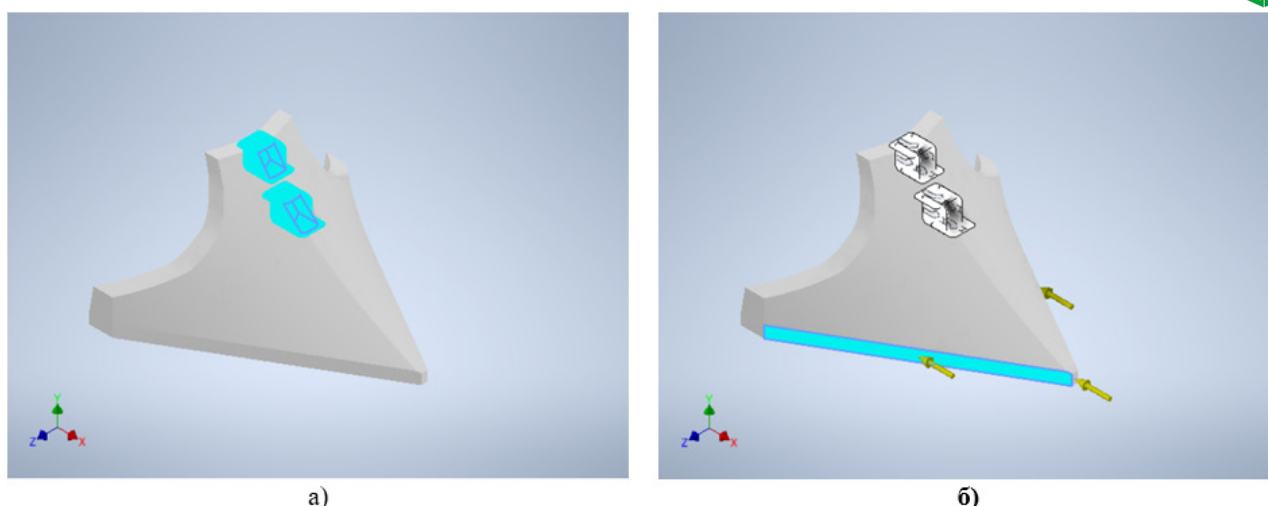


Рис. 2 – Создание модели лапы культиватора: а) задание опорных зависимостей; б) задание нагрузок
Fig. 2 – Creating a cultivator share model: a) setting of support dependencies; b) setting loads

Результаты исследований и их обсуждение

К основным параметрам разработанной конструкции лапы культиватора относятся: ширина захвата b , угол раствора 2γ , передний угол резания β_0 , угол заострения i , материал. Ширина захвата принята равной 275 мм, такое значение достаточно для обеспечения работы конструкции в междурядье сельскохозяйственных культур. Угол раствора принят для разработанной конструкции 100° , что вполне достаточно для обеспечения качественного рыхления, требуемой жесткости конструкции и требуемых значений перекрытий. Передний угол резания принят равным 25° , что позволяет лапе культиватора удалять срезанные части сорняков. Угол заострения находится в пределах $13-14^\circ$. Наиболее часто принимаемым материалом для лап культиваторов является сталь 65Г. Прочностные расчеты лапы культиватора проведены для стальных конструкций лапы.

Наравне с качеством проведения технологической операции по срезанию и удалению сорняковой растительности лапа культиватора рассматривалась с точки зрения уменьшения тяговых сопротивлений почвы при рыхлении. Принятые значения параметров лапы культиватора основаны на экспериментальных исследованиях модели лапы культиватора на грунтовом лотке лаборатории цифровой мелиорации РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Наиболее близким к результатам теоретико-практической апробации авторов настоящей работы является публикация [15].

В качестве исследований различных схем нагружения культиваторной лапы в работе представлено действие нагрузок со стороны обрабатываемой среды, т. е. сопротивление почвы резанию, выражаемое единицей силы, приходящейся на единицу лобовой площади рабочей поверхности лапы. Кроме того, в схеме нагружения имеет большое значение глубина рыхления. При рассмотрении схемы нагружения одной лапы культиватора ее собственный вес не оказывает значительного влияния на ее прочность. Собственный вес учитывается при рассмотрении всего рабочего оборудо-

вания культиватора со множеством лап, однако наличие опорных колес способствует обеспечению оптимальных значений глубины рыхления.

По проведенному анализу напряженного состояния лапы культиватора выявлены наиболее напряженные участки конструкции, что позволяет конструктору на этапе проектирования вносить изменения с целью обеспечения требуемой прочности и жесткости. На рисунке 3 представлены результаты расчета новой конструкции лапы культиватора. Наибольший интерес с точки зрения обеспечения прочности конструкции представляет такая характеристика в таблицах результатов как коэффициент запаса прочности, который у стальных конструкций в предварительных прочностных расчетах должен составлять величину в диапазоне от 1,5 до 2,0 единиц. Очевидно, что превышение значений по сравнению с данным диапазоном говорит о чрезмерном расходе металла, а меньшие значения говорят о невозможности применения данной конструкции [14, 15, 16].

В таблице результатов получены значения коэффициента запаса прочности, в данном примере они равны 2,5 единицам. С учетом больших тяговых сопротивлений высоких напряжений (рис. 3, а) в конструкции и возможного повышенного износа передней лемеховой части лапы (рис. 3, б) с полученными значениями коэффициента запаса прочности можно согласиться.

Второй этап предполагает выполнение расчета, рассмотрение всех эпюр, таблиц и проведение анализа напряженного состояния. Кроме того, рассматривался вопрос оптимизации формы лапы культиватора с учетом действующих на нее нагрузок. Такое исследование в Inventor Pro с применением генератора форм показало возможность крепления лапы к корпусу рамы двумя винтовыми соединениями.

Третий этап исследований проводился в целом для всей машины – культиватора, включающего в себя множество лап предлагаемой конструкции, установленных на специальную раму. При этом культиватор может иметь несколько складывающихся секций рам. Общие тяговые сопротивления

почвогрунтов рабочему оборудованию культиватора складывались из сопротивлений каждой лапы с учетом сил трения и сопротивления на опорных колесах. Кроме того, важной составляющей исследований была сама конструкция рамы, которая также должна обладать достаточной прочностью и жесткостью.

Исследование конфигурации рамы проводилось с применением отечественной программы Ли́ра-САПР. Несмотря на то, что программа предназначена для расчетов строительных конструкций, она широко используется при исследовании рамных элементов. В целом в данной программе исследуемое оборудование принимается как взаимосвязанные узлы и элементы (стержни). Изначально узлы задавались в виде точек, а стержни в виде отрезков, которым в последующем присваиваются «жесткости». В данной программе

стандартные профили носят общее название «жесткости». Для формирования жесткой конструкции рамы культиватора часто применяются прямоугольные трубы, конструкции квадратного сечения и т. д. После того, как определены профили, задаются нагрузки. Нагрузки в данном случае могут быть от среды взаимодействия, также собственный вес рамы влияет на ее прочность. По результатам исследований формируются эпюры моментов, возникающих в конструкции. Однако в отличие от программы Inventor Pro программа Ли́ра-САПР не предоставляет значения коэффициента запаса прочности деталей, а только рассчитывает значения моментов и предоставляет их эпюры. При этом, зная величины возникающих в конструкции моментов сопротивления изгибу и кручению, для стандартных профилей легко можно оценить прочность детали.

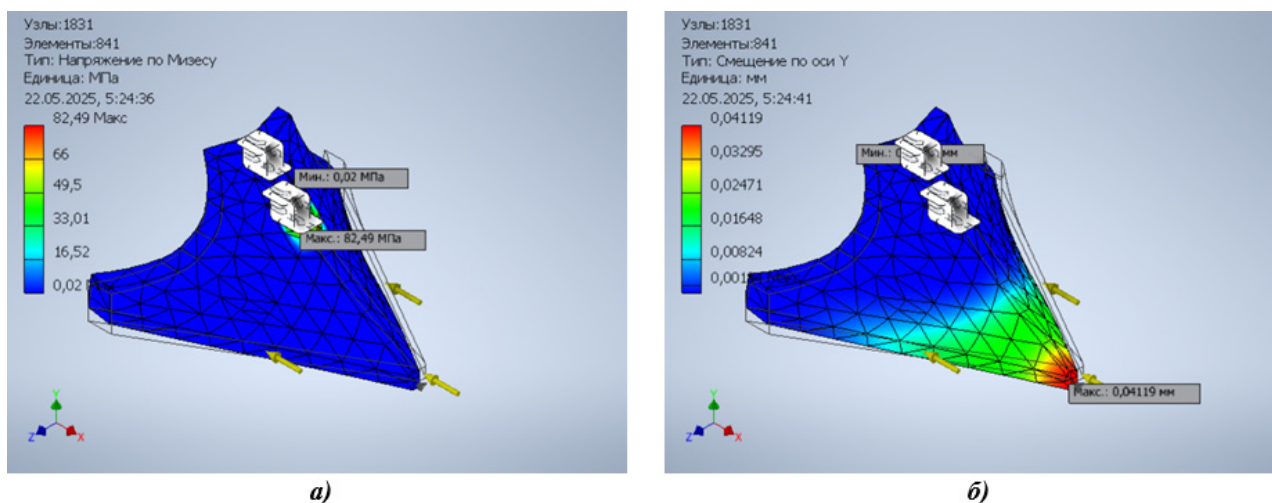


Рис. 3 – Результаты расчета лапы культиватора: а) напряжения по Мизесу; б) величина смещения
Fig. 3 – Results of cultivator share calculation: a) Mises stresses; b) Amount of displacement

Заключение

По проведенным исследованиям можно сделать выводы о том, что:

- 1) в работе предложена конструкция лапы культиватора с оптимальными значениями основных параметров, таких как ширина захвата $b=275$ мм, угол раствора $2\gamma=100^\circ$, передний угол резания $\beta_0=25^\circ$, угол заострения $i=14^\circ$, материал – сталь 65Г. Такие значения параметров приняты на основании предварительных лабораторных исследований по определению тяговых сопротивлений, действующих на модель лапы культиватора;
- 2) разработанная конструкция лапы культиватора на предварительном этапе проведения анализа напряженного состояния при данных нагрузках обладает достаточным коэффициентом запаса прочности, равным 2,5 единицам. Несмотря на превышающие требуемые значения, диапазоном с полученными значениями коэффициента запаса прочности можно согласиться с учетом того, что лапы культиватора установлены на раму почти под прямым углом, создавая при этом дополнительные моменты и напряжения;
- 3) применение графического пакета Inventor Pro в разработке рабочих органов почвообрабатывающих машин, в частности, элементов культиватора

во многом способствует их качественному исследованию на этапе создания моделей и предварительных расчетов;

- 4) возрастающие тяговые сопротивления при работе культиватора частично компенсируются криволинейной поверхностью лапы культиватора и ее уменьшенной лобовой площадью сечения;
- 5) результаты расчета показывают необходимость проведения исследований не только по конструкции лапы культиватора, а также и для рамных конструкций, в нижней плоскости которых жестко на стойках корпусов фиксируются конструкции разработанных лап.

Список источников

1. Абдулмажидов, Х. А. Анализ напряженного состояния при разработке новых конструкций рабочего оборудования строительных и мелиоративных машин / Х. А. Абдулмажидов, В. И. Балабанов, Н. Б. Мартынова // Наука в центральной России. – 2021. – № 3(51). – С. 78–87. – DOI 10.35887/2305–2538-2021-3-78-87.
2. Иванов, А. Ю. Формирование компетентности в области профессиональных программных продуктов / А. Ю. Иванов, С. Р. Козырева // Про-



фессиональное образование. Столица. – 2010. – № 11. – С. 39–41.

3.Абдулмажидов, Х. А. Комплексное проектирование и прочностные расчеты конструкций машин природообустройства в системе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов, А. С. Матвеев // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2016. – № 2(72). – С. 40–46.

4.Гутиев, Э. К. Метод конечных элементов в автомобилестроении / Э. К. Гутиев, А. М. Дауров, В. Б. Кутателадзе // Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы Всероссийской научно-практической конференции в честь 90-летия факультета технологического менеджмента, Владикавказ, 14–16 ноября 2019 года. Том 2. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2019. – С. 166–168.

5.Шабанов, Б. М. Прочностной расчет ковша элеватора в autodesk Inventor / Б. М. Шабанов, Е. Д. Барсук // Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2017): Материалы V Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 11–15 сентября 2017 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2017. – С. 338–341.

6.Тойгамбаев, С. К. Проектирование, прочностные расчеты и оптимизация формы конструкций рабочего оборудования мелиоративных машин в системе Inventor Pro / С. К. Тойгамбаев, Х. А. Абдулмажидов, А. Т. Абенев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 2. – С. 152–159. – DOI 10.36508/RSATU.2025.67.96.021.

7.Дидманидзе, О. Н. Основы оптимального проектирования машинно-тракторных агрегатов / О. Н. Дидманидзе, Р. Н. Егоров. – Москва: Учебно-методический центр "Триада", 2017. – 230 с.

8.Жуков, И. А. Рациональное проектирование деталей ударных узлов машин ударного действия / И. А. Жуков // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2016. – № 1. – С. 51–58.

9.Вальехо Мальдонадо, П. Р. Реализация процесса проектирования кривошипно-шатунного механизма ДВС в системе AUTODESK INVENTOR / П. Р. Вальехо Мальдонадо, Д. К. Гришин, В. А. Лодня // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2008. – № 2. – С. 85–89.

10.Неклюдова Г.А., Евтух Е. С. Применение МКЭ для анализа коэффициентов концентрации напряжений в стержнях при расчете на усталостную прочность // Механика XXI века. 2023. № 22. С. 278–282.

11.Дородов П. В., Хакимов И. Т. О несущей способности рамы культиватора БПК-12 // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (75). С. 47–55. DOI 10.48012/1817–5457-2023-3-47-55.

12.Гоц А. Н. Выбор детерминированной модели при расчете деталей методом конечных элементов // Фундаментальные исследования. 2015. № 9–1. С. 14–18.

13.Котельников А. А., Абышев К. И., Алпеева Е. В. Применение метода конечных элементов в расчетах сварных конструкций. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2014. 126 с. ISBN: 978-5-905556-90-6.

14.Загоруйко, М. Г., Васильчиков В. В., Мамахай А. К. Имитационное моделирование параметров шнека экструдера // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 4. С. 71–77. DOI 10.22314/2073–7599–2020-14-4-71-77.

15.Методика анализа на прочность ходовых систем гусеничных тракторов с использованием многомассовых динамических и конечно-элементных моделей / В. А. Горелов, А. И. Комиссаров, Д. С. Вдовин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 4. С. 63–70. DOI: 10.17816/0321-4443-66409.

16.Евсигнеева Н. А., Котельников А. А., Романенко Д. Н. Применение метода конечных элементов при расчете сварной конструкции // Сварочное производство. 2018. № 3. С. 45–48.

17.Дидманидзе, О. Н. Применение метода конечных элементов при исследовании прочности лапы культиватора / О. Н. Дидманидзе, А. В. Бугаев, Х. А. Абдулмажидов // Международный технический журнал. – 2025. – № 1(95). – С. 37–47. – DOI 10.34286/2949-4176-2025-95-1-37-47.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- 1.Abdulmashidov, X. A. Analiz napryazhennogo sostoyaniya pri razrabotke novy'x konstrukcij rabocheho oborudovaniya stroitel'ny'x i meliorativny'x mashin / X. A. Abdulmashidov, V. I. Balabanov, N. B. Marty'nova // Nauka v central'noj Rossii. – 2021. – № 3(51). – С. 78–87. – DOI 10.35887/2305–2538-2021-3-78-87.
- 2.Ivanov, A. Yu. Formirovanie kompetentnosti v oblasti professional'ny'x programmny'x produktov / A. Yu. Ivanov, S. R. Kozy'reva // Professional'noe obrazovanie. Stolicza. – 2010. – № 11. – С. 39–41.
- 3.Abdulmashidov, X. A. Kompleksnoe proektirovanie i prochnostny'e raschety' konstrukcij mashin prirodoobustrojstva v sisteme Inventor Pro / X. A. Abdulmashidov, A. S. Matveev // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vy'sshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvenny'j agroinzhenerny'j universitet imeni V.P. Goryachkina. – 2016. – № 2(72). – С. 40–46.
- 4.Gutiev, E'. K. Metod konechny'x e'lementov v avtomobilestroenii / E'. K. Gutiev, A. M. Daurov, V. B. Kutateladze // Innovacionny'e tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skoxozyajstvennoj produkcii: Materialy' Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii v chest' 90-letiya fakul'teta tekhnologicheskogo menedzhmenta, Vladikavkaz, 14–16 noyabrya 2019 goda. Tom 2. – Vladikavkaz: Gorskij gosudarstvenny'j agrarny'j universitet, 2019. – С. 166–168.



5. Shabanov, B. M. Prochnostnoj raschet kovsha e'levatora v autodesk Inventor / B. M. Shabanov, E. D. Barsuk // *Innovacionny'e tekhnologii v nauke i obrazovanii (ITNO-2017): Materialy' V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Rostov-na-Donu, 11–15 sentyabrya 2017 goda. – Rostov-na-Donu: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu DGTU-PRINT, 2017. – S. 338–341.*

6. Tojgambaev, S. K. Proektirovanie, prochnostny'e raschety' i optimizaciya formy' konstrukcij rabocheho oborudovaniya meliorativny'x mashin v sisteme Inventor Pro / S. K. Tojgambaev, X. A. Abdulmazhidov, A. T. Abenov // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotexnologicheskogo universiteta im. P.A. Kosty'cheva. – 2025. – T. 17, № 2. – S. 152–159. – DOI 10.36508/RSATU.2025.67.96.021.*

7. Didmanidze, O. N. Osnovy' optimal'nogo proektirovaniya mashinno-traktorny'x agregatov / O. N. Didmanidze, R. N. Egorov. – Moskva: Uchebno-metodicheskij centr Triada, 2017. – 230 s.

8. Zhukov, I. A. Racional'noe proektirovanie detalej udarny'x uzlov mashin udarnogo dejstviya / I. A. Zhukov // *Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2016. – № 1. – S. 51–58.*

9. Val'exo Mal'donado, P. R. Realizaciya processa proektirovaniya krivoshipno-shatunnogo mexanizma DVS v sisteme AUTODESK INVENTOR / P. R. Val'exo Mal'donado, D. K. Grishin, V. A. Lodnya // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby' narodov. Seriya: Inzhenerny'e issledovaniya. – 2008. – № 2. – S. 85–89.*

10. Neklyudova G.A., Evtux E. S. Primenenie MKE' dlya analiza koe'fficientov koncentracii napryazhenij v sterzhnyax pri raschete na ustalostnuyu prochnost' // *Mexaniki XXI veku. 2023. № 22. S. 278–282.*

11. Dorodov P. V., Xakimov I. T. O nesushhej sposobnosti ramy' kul'tivatora BPK-12 // *Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii. 2023. № 3 (75). S. 47–55. DOI 10.48012/1817–5457-2023-3-47-55.*

12. Gocz A. N. Vy'bor determinirovannoj modeli pri raschete detalej metodom konechny'x e'lementov // *Fundamental'ny'e issledovaniya. 2015. № 9–1. S. 14–18.*

13. Kotel'nikov A. A., Aby'shev K. I., Alpeeva E. V. Primenenie metoda konechny'x e'lementov v raschetax svarny'x konstrukcij. Kursk : ZAO «Universitetskaya kniga», 2014. 126 s. ISBN: 978-5-905556-90-6.

14. Zagorujko, M. G., Vasil'chikov V. V., Mamaxaj A. K. Imitacionnoe modelirovanie parametrov shneka e'kstrudera // *Sel'skoxozyajstvenny'e mashiny i tekhnologii. 2020. T. 14, № 4. S. 71–77. DOI 10.22314/2073–7599–2020-14-4-71-77.*

15. Metodika analiza na prochnost' xodovy'x sistem gusenichny'x traktorov s ispol'zovaniem mnogomassovy'x dinamicheskix i konechno-e'lementny'x modelej / V. A. Gorelov, A. I. Komissarov, D. S. Vdovin [i dr.] // *Traktory' i sel'xozmashiny'. 2018. № 4. S. 63–70. DOI: 10.17816/0321-4443-66409.*

16. Evsigneeva N. A., Kotel'nikov A. A., Romanenko D. N. Primenenie metoda konechny'x e'lementov pri raschete svarnoj konstrukcii // *Svarochnoe proizvodstvo. 2018. № 3. S. 45–48.*

17. Didmanidze O. N., Bugaev A. V., Abdulmazhidov Kh. A. Primenenie metoda finechnykh elementov pri issledovanii prochnosti papy kultivator [Application of the finite element method in the study of the strength of the cultivator's paw]. – 2025. – № 1(95). – P. 37–47. – DOI 10.34286/2949-4176-2025-95-1-37-47.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Отари Назирович Дидманидзе, д-р техн. наук, профессор, академик РАН, зав. кафедрой тракторов и автомобилей, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Didmanidze@rgau-msha.ru

Бугаев Александр Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, a.bugaev@rgau-msha.ru

Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович, канд. техн. наук, доцент кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, abdulmajidov@rgau-msha.ru

Author Information

Otari Nazirovich D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Didmanidze@rgau-msha.ru

Bugaev Alexander V. Alexander Vyacheslavovich Bugaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, a.bugaev@rgau-msha.ru

Abdulmazhidov Khamzat A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Organization and Technologies of Irrigation and Reclamation and Construction Works, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, abdulmajidov@rgau-msha.ru

Статья поступила в редакцию 21.10.2025; одобрена после рецензирования 03.12.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 21.10.2025; approved after reviewing 03.12.2025; accepted for publication 15.12.2025



Вестник РГТУ. 2025, т.17, №4, с. 125-132
Vestnik RGATU. 2025, Vol.17, №4, pp 125-132

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.12
DOI: 10.36508/RSATU.2025.95.29.016

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАМКОВ
МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН
ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ БОРОМ**

Никита Сергеевич Жбанов

Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, г. Рязань, Россия.

zbanovnikita25@gmail.com

Аннотация.

Проблема и цель. Наряду с повышением эффективности функционирования картофелеуборочной техники особую важность представляет вопрос надёжности. Одним из перспективных рабочих органов является сепарирующий элеватор с композитными прутками, разработанный для картофелеуборочного копателя КТН -2В. Ранее в результате экспериментальных исследований была доказана эффективность его применения. Интерес представляет надёжность и износостойкость данного рабочего органа. Прутки крепятся к приводным ремням при помощи металлических замков, которые в результате эксплуатации входят в сцепление с цепными колёсами (звездочками). В результате описанного зацепления наблюдается износ как замков, так и цепных колёс. Ввиду этого актуальным является вопрос нанесения упрочняющего слоя на поверхность металлических замков, в дальнейшем планируется рассмотреть вопрос упрочнения и цепных колёс. Целью исследования является определение оптимальной технологии для упрочнения поверхности металлических замков сепарирующего элеватора.

Методология. Рассмотрены основные методы упрочнения металлических поверхностей. Наибольший интерес представляют методы диффузионной металлизации, плазменного напыления и ионной имплантации. Установлено, что все указанные методы способны повысить износостойкость металлических деталей сельскохозяйственных машин. При этом следует отметить, что для метода диффузионной металлизации характерна малая скорость протекания реакции, а также необходимость в поддержании высоких температур, при этом имеет место увеличение размеров детали на 0,1-0,3 мм. К недостаткам плазменного напыления следует отнести малую адгезию и пористость, необходимость в абразивной обработке. Кроме того, имеет место высокий уровень шума и излучения при обработке поверхностей данным методом. Образование дефектов кристаллической решётки по телу детали, возникающих в следствие выбивания атома из узла решётки, является основным недостатком метода ионной имплантации.

Результаты. Проведённым анализом установлено, что наиболее предпочтительным является метод ионной имплантации, поскольку в результате его применения возможно получить упрочняющие поверхности с уникальной концентрацией легирующих веществ, которые классическими способами получить не представляется возможным. Следует также отметить возможность разнообразного комбинирования компонентов, что способствует созданию оригинальных, износостойких поверхностей. Учитывая, что в дальнейшем планируется рассмотреть упрочнение поверхностей других деталей сельскохозяйственных машин, описанные преимущества имеют высокую технологическую значимость. Ионную имплантацию для создания упрочняющего слоя металлических замков планируется проводить прямым способом. Создание упрочняющего слоя данным способом подразумевает насыщение верхнего слоя ионами бора. Этот процесс характеризуется созданием ионного потока бора, с последующим проникновением его частиц внутрь кристаллической решётки основного материала. Предлагаемое к использованию устройство состоит из вакуумной камеры, к верхней части которой присоединяется кварцевая трубка, а к её концу – катод кольцеобразной формы; анод устанавливается в противоположной части трубки. Для формирования ионных потоков и после-



для осуществления процесса имплантации предполагается использовать ионную пушку. Для обеспечения оптимального расположения детали (под заданным углом) разработано поддерживающее устройство детали приспособление.

Ключевые слова: сельскохозяйственное машиностроение, картофелеуборочные машины, сепараторный элеватор, ионная имплантация

Для цитирования: Жбанов Н.С. Разработка технологии упрочнения поверхности металлических замков модернизированного сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин ионной имплантацией бором // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.125-132 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.95.29.016>

Original article

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR STRENGTHENING THE SURFACE OF METAL LOCKS OF AN UPGRADED SEPARATING ELEVATOR OF POTATO HARVESTERS BY ION IMPLANTATION WITH BORON

Nikita Sergeevich Zhbanov

Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia.

zbanovnikita25@gmail.com

Annotation.

The problem and the goal. Along with increasing the efficiency of potato harvesting equipment, the issue of reliability is of particular importance. One of the promising working bodies is a separating elevator with composite rods, designed for the KTN-2B potato harvester. Earlier, as a result of experimental studies, the effectiveness of its use was proven. Of interest is the reliability and wear resistance of this working body. The rods are attached to the drive belts by means of metal locks, which, as a result of operation, engage the chain wheels (sprockets). As a result of the described engagement, wear is observed on both locks and sprockets. In view of this, the issue of applying a strengthening layer to the surface of metal locks is relevant, and in the future it is planned to consider the issue of strengthening sprockets. The purpose of the study is to determine the optimal technology for strengthening the surface of the metal locks of the separating elevator.

Methodology. The main methods of hardening metal surfaces are considered. The method of diffusion metallization, plasma sputtering and ion implantation is of the greatest interest. It has been established that all of these methods are capable of increasing the wear resistance of metal parts of agricultural machinery. It should be noted that the diffusion metallization method is characterized by a low reaction rate, as well as the need to maintain high temperatures, while there is an increase in the size of the part by 0.1-0.3 mm. The disadvantages of plasma spraying include low adhesion and porosity, and the need for abrasive treatment. In addition, there is a high level of noise and radiation during surface treatment using this method. The formation of crystal lattice defects in the body of the part, resulting from the dislocation of an atom from the lattice site, is the main disadvantage of the ion implantation method.

Results. Based on the analysis, it was found that the ion implantation method is the most preferable, due to the fact that as a result of its application it is possible to obtain reinforcing surfaces with a unique concentration of alloying substances that cannot be obtained using classical methods. In addition, it should be noted the possibility of a diverse combination of components, which also contributes to the creation of original, wear-resistant surfaces. Considering that in the future it is planned to consider the hardening of the surfaces of other parts of agricultural machinery, the described advantages are of high technological importance. Ion implantation to create a strengthening layer of metal locks is planned to be carried out in a direct way. The creation of a reinforcing layer by this method implies saturation of the upper layer with boron ions. This process is characterized by the creation of an ion stream of boron, followed by the penetration of its particles into the crystal lattice of the base material. The device proposed for use consists of a vacuum chamber to the upper part of which a quartz tube is connected, to the end of which a ring-shaped cathode is connected, the anode is installed in the opposite part of the tube. An ion cannon is supposed to be used for the formation of ion fluxes and the subsequent implementation of the implantation process. To ensure the optimal location of the part (at a given angle), a device supporting the part has been developed.

Key words: agricultural engineering, potato harvesting, potato harvesters, separation elevator, ion implantation

For citation: Zhbanov N.S. Development of technology for hardening the surface of metal locks of an upgraded separating elevator of potato harvesters by ion implantation with boron // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No. 4, P. 125-132 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.95.29.016>

Введение

Наряду с повышением эффективности функционирования картофелеуборочной техники особую важность представляет вопрос надёжности

[1]. Повышение уровня данных показателей является приоритетным для современных учёных. Модернизация рабочих органов является одним из основных направлений по совершенствованию



процесса уборки и повышению эффективности и надёжности картофелеуборочных машин [2]. Одним из перспективных рабочих органов является сепарирующий элеватор с композитными прутками, разработанный для картофелеуборочного копателя КТН-2В. Общий вид замков, закреплённых на приводных ремнях, представлен на рисунке 1 [3].

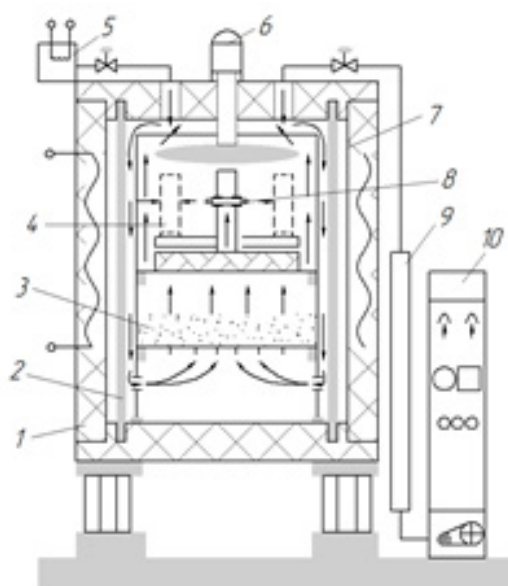


Рис. 1– Общий вид металлических замков, закреплённых на приводных ремнях
Fig.1– General view of metal locks attached to drive belts

В результате экспериментальных исследований была доказана эффективность применения сепарирующего элеватора с композитными прутками. Интерес представляет надёжность и износостойкость данного рабочего органа. Прутки крепятся к приводным ремням при помощи металлических замков, которые в результате эксплуатации входят в сцепление с цепными колёсами (звездочками) [4]. В процессе описанного зацепления наблюдается износ как замков, так и цепных колес. Ввиду этого актуальным является вопрос нанесения упрочняющего слоя на поверхность металлических замков, в дальнейшем планируется рассмотреть вопрос упрочнения и цепных колес. Для определения оптимальной технологии упрочнения проведём анализ существующих технологий.

Материалы и методы

Основной идеей диффузионной металлизации при создании упрочняющих покрытий является создание дополнительного верхнего слоя и внедрение в его поверхность активных атомов с последующим их распределением. На рисунке 2 представлена схема установки для диффузионного насыщения. Важным аспектом всего процесса упрочнения является выбор среды, в которой будет проходить реакция, не менее значимым является химическое состояние элементов, участвующих в реакции. Исходя из многообразия материалов, возможных для использования в качестве покрытия, упрочнённые поверхности могут характеризоваться различными свойствами, что безусловно является плюсом метода [5].



1 – печь; 2 – муфель; 3 – источник ;
4 – обрабатываемый объект; 5 – испаритель;
6 – вентилятор; 7 – корректирующий экран;
8 – покрываемая деталь; 9 – накопитель обработанных газов; 10 – пульт управления [5]

Рис. 2 – Схема установки для диффузионного насыщения
Fig.2 – The scheme of the installation for diffusion saturation

1 – furnace; 2 – muffle; 3 – source; 4 – processed object; 5 – evaporator; 6 – fan; 7 – adjustment screen; 8 – coated part; 9 – processed gases reservoir; 10 – control panel [5]

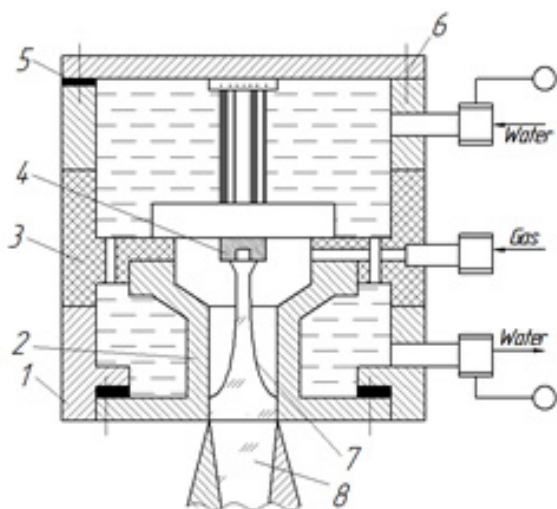
Рассматривая возможные варианты для упрочняющего покрытия металлических замков, следует выделить комбинированный, многокомпонентный материал на основе хрома и бора, способный в значительной мере повысить твёрдость поверхности, а также повысить износостойкость. К недостаткам данного способа следует отнести малую скорость протекания реакции, а также необходимость в поддержании высоких температур; кроме того, имеет место увеличение размеров детали на 0,1-0,3 мм.

Рассматривая метод плазменного напыления, следует отметить, что нанесение покрытия сопровождается высокими температурами, около 5000° С, осуществляется посредством плазменной струи [6]. Основная идея метода состоит в преобразовании упрочняющего материала и доведении его до жидкого агрегатного состояния за счёт подачи вещества в плазмообразующую струю газа, и в последующем его нанесении на деталь. Общая схема установки для плазменного распыления представлена на рисунке 3.

Диапазон веществ, способных использоваться в качестве плазмообразующего газа, обширен, в него входят аргон, гелий и др. Для наилучшего упрочняющего эффекта обрабатываемой поверхности рекомендуется последовательное нанесение нескольких слоёв напыления. К основным достоинствам метода следует отнести высокую производительность и экономичность, к недостат-



кам – малую адгезию и пористость, вследствие чего возникает необходимость в абразивной обработке. Кроме того, имеет место высокий уровень шума и излучения при обработке поверхностей данным методом [8].



1 – корпус установки; 2 – сопло; 3 – вставка электроизоляционная; 4 – электрод; 5 – прокладки; 6 – элементы крепления; 7 – дуга; 8 – плазменная струя [7]

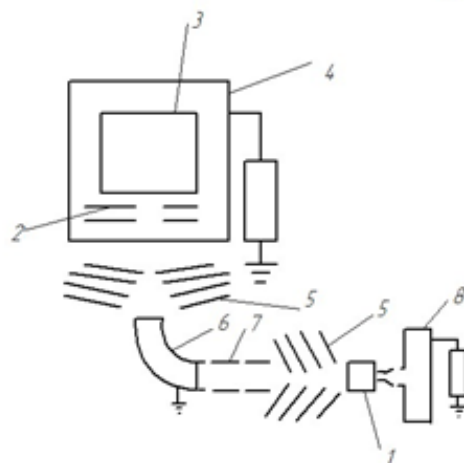
Рис. 3 – Общая схема установки для плазменного распыления

Fig.3 – General scheme of the plasma spraying plant

1 – installation body; 2 – nozzle; 3 – insulating insertion; 4 – electrode; 5 – gaskets; 6 – mounting elements; 7 – arc; 8 – plasma jet [7]

Наибольший интерес представляет метод ионной имплантации. Процесс характеризуется нанесением ионизированных частиц легирующих веществ на тело детали. Следует отметить, что в качестве ионизирующего компонента могут выступать азот, водород и др., поступающие в аппарат в виде газа. Допустимо использование твёрдых веществ при предварительном переводе их в парообразное состояние. Допустимо также распыление в газовой среде с последующей ионизацией в плазме газа [9]. Данный метод характерен для материалов, у которых температура парообразования превышает 1000°C . Следует отметить, что химической растворимостью легирующего вещества пренебрегают ввиду отсутствия зависимости между данным показателем и процессом имплантации. Общий вид устройства для ионной имплантации представлен на рисунке 4.

Рассматривая недостатки данного метода, следует выделить наиболее значимый, а именно, образование дефектов кристаллической решётки по телу детали, возникающих вследствие выбивания атома из узла решётки. Велика вероятность перехода мельчайших дефектов в более сложные виды разрушений в результате их объединения между собой. Следует отметить, что данная проблема не критична и имеет различные методы её решения, основным является повышение температуры или отжиг в случаях, когда повышение не помогает ликвидировать дефект [10].



1 – диафрагма; 2 – система формирования пучка; 3 – источник; 4 – высоковольтный модуль; 5 – ускоритель; 6 – масс-сепаратор; 7 – линза; 8 – приёмная камера

Рис. 4 – Схема высокоэнергетической установки ионной имплантации

Fig.4 – Scheme of a high-energy ion implantation unit

1 - diaphragm; 2 - beam forming system; 3 - source; 4 - high-voltage module; 5 - accelerator; 6 - mass separator; 7 - lens; 8 - receiving chamber

Ввиду того, что создаваемый с помощью ионной имплантации упрочняющий слой не превышает 1 мкм , он имеет склонность к быстрому износу. Для устранения данной проблемы прибегают к высокоинтенсивной ионизации с высокой плотностью тока, но не выше 10 мА/см^2 . Возникающий в процессе эффект диффузии способствует наилучшему внедрению легирующих компонентов вглубь материала, что положительно сказывается на толщине слоя, а также на его прочностных характеристиках [11].

Представленные методы позволяют создать упрочняющие поверхности с особыми характеристиками. Для объективного сопоставления методов и выбора наиболее рационального сформирована сравнительная диаграмма. В качестве основных критериев выступает толщина покрытия и шероховатость поверхности. Установлено, что наименьшей шероховатостью обладают покрытия, созданные при помощи ионной имплантации, с толщиной покрытия от $0,04$ до $0,63\text{ мкм}$.

В рамках данного исследования при создании упрочняющего слоя метод ионной имплантации является наиболее предпочтительным, так как при других вариантах нанесения покрытий шероховатость значительно выше и составляет $1,6\text{ мкм}$ при диффузионном насыщении и $12,5\text{ мкм}$ при плазменном напылении. Следует отметить, что ионная имплантация характеризуется наименьшей максимальной толщиной по сравнению с остальными методами и составляет 20 мкм . Исходя из этого, следует, что применение данного метода в меньшей степени отразится на геометрических параметрах изделия и позволит избежать последующей технологической обработки. Резюмируя изложен-



ные сведения, видим, что создание упрочняющего слоя при помощи метода ионной имплантации является наиболее перспективным и способным создать упрочняющий слой, обладающий наилучшими характеристиками.

Следующим этапом при планировании процесса создания упрочняющего слоя является выбор легирующего вещества. Для металлических замков сепарирующего элеватора наиболее предпочтительными являются бор, азот и нитрид бора.

Имплантация азотом позволяет создать упрочняющий слой большей толщины, в сравнении с бором, но при этом в меньшей степени обеспечивает повышение прочностных характеристик металлических замков.

Использование бора в качестве ионизатора в процессе имплантации позволит повысить износостойкость и коррозионную устойчивость. Кроме того, имеет место снижение коэффициента трения, а также устойчивость к кавитации.

Использование в качестве ионизатора нитрида бора предполагает сочетание в себе положительных качеств, характерных ранее рассмотренным видам покрытий. При этом совместимость азота и углерода изучена не в полной мере, что ставит под сомнение применение их при создании упрочняющего слоя детали.

Исходя из вышеизложенного, следует, что ионная имплантация бором является наиболее рациональным методом создания упрочняющего слоя металлических замков.

Результаты исследования

Из проведённого анализа установлено, что наиболее предпочтительным является метод ионной имплантации, поскольку в результате его применения можно получить упрочняющие поверхности с уникальной концентрацией легирующих веществ, которые классическими способами получить не представляется возможным. Следует отметить возможность разнообразного комбинирования компонентов, что также способствует созданию оригинальных, износостойких поверхностей. Учитывая, что в дальнейшем планируется рассмотреть упрочнение поверхностей других деталей сельскохозяйственных машин, описанные преимущества имеют высокую значимость.

Ионную имплантацию для создания упрочняющего слоя металлических замков сепарирующего элеватора картофелеуборочного копателя КТН-2В, выполненных из холоднодеформированной трубы, планируется проводить прямым способом. Создание упрочняющего слоя данным способом подразумевает насыщение верхнего слоя ионами бора. Этот процесс характеризуется созданием ионного потока бора, с последующим проникновением его частиц внутрь кристаллической решётки основного материала. Процесс внедрения происходит под воздействием силы тока; приобретая ускорение, ионы бора выбивают из решётки частицы основного материала и занимают их места, заполняя образовавшиеся пустоты. Схема внедрения представлена на рисунке 5 [12].

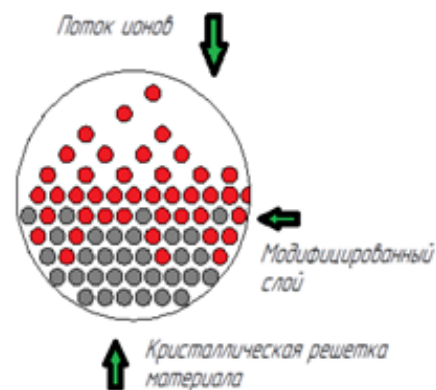


Рис. 5 – Схема внедрения ионов бора в модифицируемую поверхность
Fig.5 – The scheme of the introduction of boron ions into the modified surface

Одним из ключевых аспектов создания упрочняющего слоя с применением ионной имплантации бором является равномерность распределения внедряемых ионов по всей поверхности упрочняемой детали. Для наилучшего формирования постоянного ионного потока необходимо минимизировать или исключить воздействие негативных факторов. Для формирования ионных потоков и последующего осуществления процесса имплантации предполагается использовать ионную пушку, технические и конструкционные параметры которой способны в полной мере обеспечить выполнение поставленных задач исследования [13].

Предлагаемое к использованию устройство состоит из вакуумной камеры, к верхней части которой присоединяется кварцевая трубка, к концу которой подсоединяется катод кольцеобразной формы, анод устанавливается в противоположной части трубки. Следует отметить, что в сравнении со стеклянными аналогами кварцевая трубка обладает лучшими технологическими характеристиками и менее подвержена воздействиям, в том числе нагреванию от катода или анода. Схема ионного источника представлена на рисунке 6.

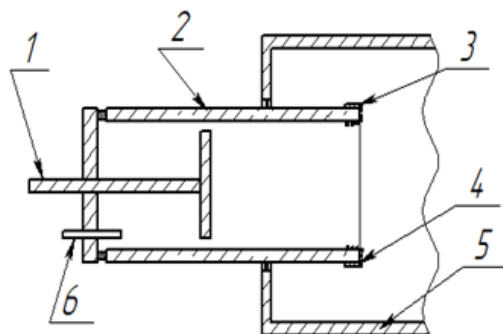
Наилучшее совпадение отверстий с вектором ионного потока обеспечивается за счёт использования в установке кольцеобразного катода, который за счёт формы предотвращает деформацию луча. Опираясь на труды учёных, рассматривающих вопросы центрации заряженных частиц с помощью диэлектрических каналов, следует, что используемая в установке кварцевая труба способна обеспечить образование устойчивого ионного потока, поскольку отражение ионных частиц от скользящих поверхностей протекает без потери энергии.

Для осуществления процесса имплантации и создания упрочняющего слоя необходимым является помещение детали внутрь замкнутого контура кварцевой трубки перед катодом. Процесс имплантации запускается в момент впуска ионизирующего газа и подачи напряжения. Экс-



периментальная ионная пушка представлена на рисунке 7.

Опытным путём установлено, что при вертикальном расположении упрочняемой детали имеет место точечная концентрация ионного луча, кроме того, данное расположение замка препятствует полноценной реализации потенциала ионной пушки. Для наилучшего формирования ионного потока и равномерного его распределения по телу детали рациональным является установка валка под углом $\pm 1-2^\circ$. С выполнением данного условия будет образован скользящий поток отражённых частиц, что позволит получить качественное, равномерное упрочняющее покрытие детали.



1 – катод; 2 – кварцевая трубка; 3 – анод;

4 – островковая пленка; 5 – вакуумная камера;

6 – трубка для соединения с газовой системой

Рис. 6 – Общая схема ионного источника

Fig. 6 – The general scheme of the ion source

1 – cathode; 2 – quartz tube; 3 – anode; 4 – island film;

5 – vacuum chamber;

6 – tube for connection to the gas system



Рис. 7 – Ионная пушка

Fig.7 – Ion cannon

Для обеспечения оптимального расположения детали (под заданным углом), необходимым является разработка поддерживающего деталь приспособления. Так как процесс имплантации протекает без механических воздействий, держатель предлагается выполнить из конструкционной стали 45, имеющей наименьшую стоимость и обладающей наилучшей способностью к обработке [14]. Предлагаемое приспособление выполняется в виде цилиндра с внешним диаметром $\varnothing 50$ мм с отверстием по центру. Главной особенностью конструкции данного приспособления является усечённое основание, обеспечивающее необходимый наклон. Эскиз крепёжного приспособления представлен на рисунке 8.

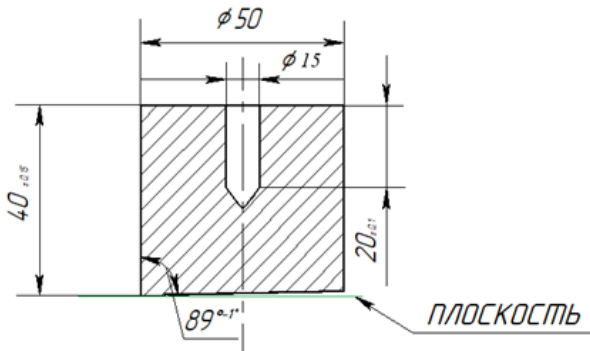


Рис. 8 – Эскиз крепёжного приспособления

Fig.8 – Sketch of the fastening device

Разработанный держатель в полной мере обеспечивает необходимый уровень фиксации детали, поэтому дополнительных поддерживающих элементов не требуется. Приспособление помещается внутрь колбы, дополнительных операций не требуется, так как держатель в полной мере выполняет поставленные функциональные задачи. Рассматриваемый держатель подходит только для обеспечения наклона конкретной детали и не является универсальным. Следует отметить возможность адаптации его под другие детали, различных форм и размеров. При этом на данном этапе работы для минимизации затрат исследования проводились на имеющемся в распоряжении ионном источнике, и держатель детали разрабатывался, исходя из его типоразмерных характеристик. В дальнейшем планируется унификация ионной пушки, а именно увеличение её размеров, что позволит создавать упрочняющий слой на более габаритных деталях. Диаметр и форма отверстия также варьируются, исходя из конкретной детали, не исключается применение постановочных втулок. Модель крепёжного приспособления представлена на рисунке 9.

Конструкция и принцип работы предлагаемой имплантационной установки являются доступными и даже в совокупности с дополнительным крепёжным оборудованием имеют низкую себестоимость.

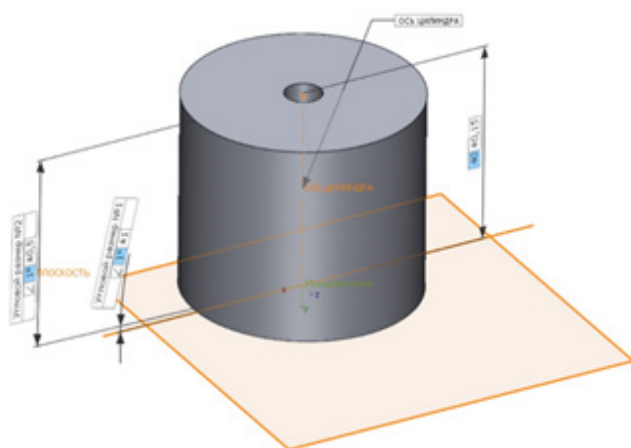


Рис. 9 – Модель разработанного крепёжного приспособления

Fig.9 – The model of the developed fastening device

Заключение

Наилучшим способом при создании упрочняющего слоя металлических замков для повышения их износостойкости является ионная имплантация бором. Процесс имплантации поверхности замков предполагается реализовывать прямым способом при помощи ионной пушки. Для наилучшего формирования ионного потока и равномерного его распределения по телу детали валок устанавливается под углом $\pm 1-2^\circ$. Для обеспечения указанного угла наклона детали разработано поддерживающее приспособление.

Список литературы

1. Жбанов Н.С. Обоснование параметров сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Жбанов Никита Сергеевич, 2022. – 140 с. – EDN FDDYBC.
2. Успенский И.А. Основы совершенствования технологического процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин [Текст]: дис...дра техн. наук : / Успенский И.А. – М., 1997. – 396 с.
3. Zhbanov N.S. Improvement of the working bodies of the harvesting machines by means of the use of composite materials [text] / N.S. Zhbanov, N.V.Byshov, G.C. Rembalovich, M.Y. Kostenko / BIO Web of Conferences 17. 2020.
4. Жбанов Н.С. Исследования Свойств композиционных материалов, применяемых в картофелеуборочных машинах [Текст] / Н.С.Жбанов, М.Ю.,Костенко, Г.К. Рембалович и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, 2020. – 2(46). – С. 69-75.
5. Methods of increasing the physical and mechanical strength of the working surface of rolling rolls / A. Chernyshev, N. Razumkina, N. Tatarnikov

[et al.] // E3s web of conferences : X International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024), Termez, Uzbekistan, 29–30 апреля 2024 года. Vol. 548. – Les Ulis: EDP Sciences, 2024. – P. 03004. – DOI 10.1051/e3sconf/202454803004. – EDN DIVJQQ.

6. Анищик В. М. Модификация структуры и свойств металлов и сплавов ионными и плазменными пучками / В. М. Анищик, В. П. Гольцев, В. М. Драко [и др.] // Выбранные науковыя працы Беларускага Дзяржаўнага ўніверсітэта : у 7 тамах. Том 4. – Мінск : Белорусский государственный университет, 2001. – С. 396-412. – EDN XSJCTJ.

7. Вохмянина, К. А. Управление пучками положительных ионов с помощью диэлектрических каналов : специальность 01.04.16 "Физика атомного ядра и элементарных частиц" : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Вохмянина Кристина Анатольевна. – Москва, 2007. – 104 с. – EDN NOVGSN.

8. Кривина Л. А. Повышение прочностных и трибологических характеристик металлических деталей пар трения методами ионно-плазменного воздействия : специальность 05.02.04 "Трение и износ в машинах" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кривина Людмила Александровна, 2019. – 181 с. – EDN KHZTCP.

9. Ласица, А. М. Модифицирование поверхности деталей из стали 38Х2МЮА имплантацией ионов Мо, Y, Sc, Gd : специальность 05.02.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ласица Александр Михайлович. – Тюмень, 2006. – 126 с. – EDN NOJDEL.

10. Злобин В. Н. Использование ионной имплантации в двигателестроении / В. Н. Злобин, И. П. Васильев, Д. В. Зеляковский // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7-4. – С. 707-711. – EDN UGAQRH.

11. Изменение состояния материала детали при ионной имплантации / В. Г. Чуранкин, А. И. Блесман, А. П. Моргунов [и др.] // Динамика систем, механизмов и машин. – 2009. – № 2. – С. 318-320. – EDN VQARUF.

12. Бобров, Г. В. Теория и технология формирования неорганических покрытий [Текст] : монография / Г. В. Бобров, А. А. Ильин, В. С. Спектор. – Москва : Альфа-М : ИНФРА-М, 2014. – 925 с. : ил., табл.; 22 см. – (Современные технологии).; ISBN 978-5-98281-407-4

13. Савкин К. П. Генерация пучков ионов бора в источнике на основе вакуумной дуги с катодом из гексаборида лантана / К. П. Савкин, А. С. Бугаев, А. В. Визирь [и др.] // Известия вузов. Физика. – 2016. – Т. 59, № 9-2. – С. 256-259. – EDN XWVHMJ.

14. Сучков О. К. Технология металлов и конструкционные материалы/ О. К. Сучков, И. А. Чернышев, С. У. Мурашкин, и др. — Издание третье дополненное и переработанное. — Москва: «МЕТАЛЛУРГИЯ», 1974 — 443.

References

1. Zhbanov N.S. Obosnovanie parametrov separiruyushchego elevatora kartofeleuborochnykh mashin: spetsialnost 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii selskogo khozyaystva": dissertatsiya na soiskanie



- uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Zhbanov Nikita Sergeevich, 2022. – 140 s. – EDN FDDYBC.
2. Uspenskiy I.A. Osnovy sovershenstvovaniya tekhnologicheskogo protsessa i snizheniya energozatrat kartofeleuborochnykh mashin [Tekst] : dis...d-ra tekhn. nauk : / Uspenskiy I.A. – M., 1997. – 396 s.
3. Zhbanov N.S. Improvement of the working bodies of the harvesting machines by means of the use of composite materials [text] / N.S. Zhbanov, N.V.Byshov, G.C. Rembalovich, M.Y. Kostenko / BIO Web of Conferences 17. 2020.
4. Zhbanov N.S. Issledovaniya Svoystv kompozitsionnykh materialov, primenyaemykh v kartofeleuborochnykh mashinakh [Tekst] / N.S.Zhbanov, M.Yu.,Kostenko, G.K. Rembalovich i dr. // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. – Ryazan, 2020. – 2(46). – S. 69-75.
5. Methods of increasing the physical and mechanical strength of the working surface of rolling rolls / A. Chernyshev, N. Razumkina, N. Tatarnikov [et al.] // E3s web of conferences : X International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024), Termez, Uzbekistan, 29–30 aprelya 2024 goda. Vol. 548. – Les Ulis: EDP Sciences, 2024. – P. 03004. – DOI 10.1051/e3sconf/202454803004. – EDN DIVJQQ.
6. Anishchik V. M. Modifikatsiya struktury i svoystv metallov i spлавov ionnymi i plazmennymi puchkami / V. M. Anishchik, V. P. Goltsev, V. M. Drako [i dr.] // Vybranyya navukovyia pratsy Belaruskaga Dzyarzhaynaga universiteta : u 7 tamakh. Tom 4. – Minsk : Belorusskiy gosudarstvennyy universitet, 2001. – S. 396-412. – EDN XSJCTJ.
7. Vokhmyanina, K. A. Upravlenie puchkami polozhitelnykh ionov s pomoshchyu dielektricheskikh kanalov : spetsialnost 01.04.16 "Fizika atomnogo yadra i elementarnykh chastits" : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata fiziko-matematicheskikh nauk / Vokhmyanina Kristina Anatolevna. – Moskva, 2007. – 104 s. – EDN NOVGS.
8. Krivina L. A. Povyshenie prochnostnykh i tribologicheskikh kharakteristik metallicheskh detaley par treniya metodami ionno-plazmennogo vozdeystviya : spetsialnost 05.02.04 "Trenie i iznos v mashinakh" : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Krivina Lyudmila Aleksandrovna, 2019. – 181 s. – EDN KHZTCP.
9. Lasitsa, A. M. Modifitsirovanie poverkhnosti detaley iz stali 38Kh2MYuA implantatsiei ionov Mo, Y, Sc, Gd : spetsialnost 05.02.01 : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Lasitsa Aleksandr Mikhaylovich. – Tyumen, 2006. – 126 s. – EDN NOJDEL.
10. Zlobin V. N. Ispolzovanie ionnoy implantatsii v dvigatelestroenii / V. N. Zlobin, I. P. Vasilev, D. V. Zelyakovskiy // Fundamentalnye issledovaniya. – 2015. – № 7-4. – S. 707-711. – EDN UGAQPH.
11. Izmenenie sostoyaniya materiala detali pri ionnoy implantatsii / V. G. Churankin, A. I. Blesman, A. P. Morgunov [i dr.] // Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. – 2009. – № 2. – S. 318-320. – EDN VQARUF.
12. Bobrov, G. V. Teoriya i tekhnologiya formirovaniya neorganicheskikh pokrytiy [Tekst] : monografiya / G. V. Bobrov, A. A. Ilin, V. S. Spektor. – Moskva : Alfa-M : INFRA-M, 2014. – 925 s. : il., tabl.; 22 sm. – (Sovremennye tekhnologii); ISBN 978-5-98281-407-4
13. Savkin K. P. Generatsiya puchkov ionov bora v istochnike na osnove vakuumnoy dugi s katodom iz gekhsaborida lantana / K. P. Savkin, A. S. Bugaev, A. V. Vizir [i dr.] // Izvestiya vuzov. Fizika. – 2016. – T. 59, № 9-2. – S. 256-259. – EDN XWVHMJ.
14. Suchkov O. K. Tekhnologiya metallov i konstruksionnye materialy/ O. K. Suchkov, I. A. Chernyshev, S. U. Murashkin, i dr. — Izdanie trete dopolnennoe i pererabotannoe. — Moskva: «METALLURGIYa», 1974 — 443.

Информация об авторах

Жбанов Никита Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт», Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, Рязань, Россия.

Author Information

Zhbanov Nikita S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Energy and Road Transport, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia.

Статья поступила в редакцию 05.11.2025; одобрена после рецензирования 04.12.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 05.11.2025; approved after reviewing 04.12.2025; accepted for publication 15.12.2025.



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 635.074:631.343
DOI: 10.36508/RSATU.2025.77.79.017

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ ВЫГОНКИ
ПЕРА ЛУКА НА ЗЕЛЕНЬ

Михаил Юрьевич Костенко¹, Георгий Константинович Рембалович², Роман Владимирович Безносюк³, Геннадий Николаевич Фадькин⁴, Андрей Владимирович Калинин⁵✉

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ kostenko.mihail2016@yandex.ru

² rgk.rgatu@yandex.ru

³ romario345830@yandex.ru

⁴ g-fadkin@mail.ru

⁵ andrey_kalinin98@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Экологичность сельского хозяйства тесно связана с развитием новых направлений, таких как применение электрических методов воздействия на растения. В связи с особенностями устройств для создания электростатического поля (ЭСП) их применяют преимущественно в теплицах. ЭСП вызывает поляризацию, что способствует возникновению слабых биоэлектрических потенциалов растений, оказывает влияние на транспорт минеральных и органических соединений. Электростимуляция усиливает естественные процессы. Цель исследований – повышение продуктивности сельскохозяйственных культур за счет стимуляции электростатическим полем.

Методология. Использование электростатического поля (ЭСП) для стимуляции выгонки пера лука – это метод физического воздействия, который позволяет ускорить биохимические и физиологические процессы в растении. Электростатическое поле – это стационарное поле, создаваемое неподвижными электрическими излучателями. Их конструкция выполнена в виде сварных металлических сеток и обеспечивает равномерность и однородность электростатического поля на участке с возделываемыми растениями.

Результаты. В исследуемом варианте проращивание луковиц было более равномерным по всей деланке. Это приводит к более быстрому появлению и росту зеленых листьев. Установлено, что высота растений на участке, где производилась стимуляция ЭСП, более стабильна по сравнению с контрольным участком, хотя и несколько отстает по высоте. Одновременное созревание урожая более предпочтительно, особенно для механизированной уборки.

Заключение. Стимуляцию электростатическим полем вели периодически по 2-5 часов в светлое время суток. Остальное время лук произрастал в обычных условиях при достаточном освещении. Напряжение ЭСП подбиралось экспериментально и составляло 25 кВ. Установлено, что применение стимуляции позволяет обеспечить массовое проращивание, быстрый рост и лучшее развитие растений, а также высокую урожайность. Стимулирование ЭСП дало значительную прибавку в урожае.

Ключевые слова: стимуляция растений, электростатическое поле, лук на перо, теплица, электростатическая стимуляция растений

Для цитирования: Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Безносюк Р.В., Фадькин Г.Н., Калинин А.В. Применение электростатического поля для стимуляции выгонки пера лука на зелень // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т17, №4, С.133-140 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.77.79.017](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.77.79.017)

Original article

USING AN ELECTROSTATIC FIELD TO STIMULATE FORCING ONION LEAF FOR GREEN

Mikhail Yu. Kostenko¹, Georgy K. Rembalovich², Roman V. Beznosyuk³, Gennady N. Fadkin⁴, Andrey V. Kalinin⁵,



^{1,2,3,4,5} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia

¹ kostenko.mihail2016@yandex.ru

² rgk.rgatu@yandex.ru

³ romario345830@yandex.ru

⁴ g-fadkin@mail.ru

⁵ andrey_kalinin98@mail.ru

Abstract.

Problem and Objective. Sustainable agriculture is closely linked to the development of new approaches, such as the use of electrical methods for influencing plants. Due to the specific properties of electrostatic field devices (ESF), they are primarily used in greenhouses. ESF causes polarization, which contributes to the development of weak bioelectric potentials in plants and influences the transport of mineral and organic compounds. Electrical stimulation enhances natural processes. The goal of this research is to increase crop productivity through electrostatic field stimulation.

Methodology. Using an electrostatic field (ESF) to stimulate green leaf forcing onion is a physical stimulation method that accelerates biochemical and physiological processes in plants. An electrostatic field is a stationary field generated by stationary electrical emitters. These emitters are constructed from welded metal meshes and ensure a uniform and homogeneous electrostatic field across the cultivated area.

Results. In the studied variant, bulb germination was more uniform across the entire plot. This leads to faster emergence and growth of green leaves. It was found that plant height in the plot treated with electrostatic field stimulation was more stable than in the control plot, although slightly lower. Simultaneous harvest ripening is preferable, especially for mechanized harvesting.

Conclusion. Electrostatic field stimulation was applied periodically for 2-5 hours during daylight hours. The remaining time, the onions grew under normal conditions with adequate light. The ESF voltage was selected experimentally and was 25 kV. Thus, the use of stimulation ensured mass germination, rapid growth, and improved plant development, as well as high yield. ESF stimulation resulted in a significant increase in yield.

Key words: plant stimulation, electrostatic field, onion for green onions, greenhouse, electrostatic stimulation of plants

For citation: Kostenko M.Yu., Rembalovich G.K., Beznosyuk R.V., Fadkin G.N., Kalinin A.V. Using an electrostatic field to stimulate forcing onion leaf for green // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No. 4, P. 133-140 [https://doi.org/ 110.36508/RSATU.2025.77.79.017](https://doi.org/110.36508/RSATU.2025.77.79.017)

Введение

Экологичность сельского хозяйства тесно связана с развитием новых направлений, таких как применение электрических методов воздействия на растения. Наиболее широко электрические методы воздействия на растения изучаются в Китае. В России проводятся исследования по предпосевной обработке семян и растений электрическими и магнитными методами [2-4,6,10-12]. Такие исследования широко проводятся в Челябинской, Новосибирской, Курганской областях, Башкирии, Чувашии, Краснодарском крае и др. [11].

В связи с особенностями устройств для создания электростатического поля (ЭСП) их применяют преимущественно в теплицах. Напряжение для создания ЭСП варьируется в зависимости от необходимой напряженности поля, расположения электродов и влажности почвы и воздуха от 20 кВ до 60 кВ [1,7,9]. ЭСП способствует выработке озона, который подавляет развитие патогенной микрофлоры. Также ЭСП снижает силы поверхностного натяжения воды, что ускоряет испарение и требует дополнительного полива.

ЭСП вызывает поляризацию, что способствует возникновению слабых биоэлектрических потенциалов растений, оказывает влияние на транспорт минеральных и органических соединений [2,5,10]. Электростимуляция усиливает естественные процессы. Возникновение слабых электри-

ческих токов вызывает выделение фитогормонов [2,5]. Фитогормоны, в свою очередь, активизируют ионный обмен клетки, в растениях повышается метаболизм, поглощение углекислого газа [2]. Слабыми электростатическими полями повышается устойчивость к стрессу.

В то же время эффективность стимуляции растений ЭСП определяется параметрами воздействия: напряженностью ЭСП, длительностью и частотой воздействия. Слабая напряженность ЭСП не дает эффекта стимуляции, а слишком сильная – вызывает ожоги тканей, угнетение роста [7,12]. К тому же для каждой культуры, сорта и даже стадии развития растения параметры воздействия ЭСП могут быть индивидуальными. Воздействие постоянного тока способно вызывать электролиз питательной среды, приводить к засолению и закислению почвы. С учетом затрат на переоборудование и электроэнергию требуется обоснованный подход к выбору приспособленных для стимулирования ЭСП высокорентабельных культур [1,8,11].

Несмотря на обнадеживающие результаты электрические методы неохотно применяются товаропроизводителями из-за наличия дополнительных затрат на переоборудование, необходимости соблюдения требований электробезопасности, недостаточной изученности. В то же время экологичность полученного урожая, снижение применения ядохимикатов или полное их отсутствие,



организация производства на принципах органического земледелия способны существенно увеличить цену такой продукции. При использовании стимуляции ЭСП электрический ток, протекающий по проводам, составляет всего несколько миллиампер и безопасен для людей и растений. Электростимуляция ЭСП растений – это перспективная область развития производства экологически чистых продуктов [2,5,10,11,12]. Цель исследований – повышение продуктивности сельскохозяйственных культур за счет стимуляции электростатическим полем.

Материалы и методы исследования

Использование электростатического поля (ЭСП) для стимуляции выгонки пера лука – это метод физического воздействия, который позволяет ускорить биохимические и физиологические процессы в растении. Применение электростатического поля для стимуляции выгонки пера лука не только ускоряет получение урожая, преимущества делают его перспективным как для небольших домашних хозяйств, так и для промышленных тепличных комплексов, ориентированных на экологически чистые технологии.

Для выгонки пера лука было разработано устройство для стимулирования ЭСП роста растений в теплицах (рис. 1). Устройство для стимулирования роста растений в теплицах на основе электростатического поля содержит основание (раму) 1, положительно заряженный излучатель 2 и отрицательно заряженный излучатель 3, выполненные в виде сварной металлической сетки и соединенные с источником тока высокого напряжения 5 проводами 4. Положительно заряженный излучатель 2 закреплен над возделываемыми растениями с помощью механизма регулировки высоты 6 через изоляторы 7, а отрицательно заряженный излучатель 3 размещен в грунте или субстрате под растениями.

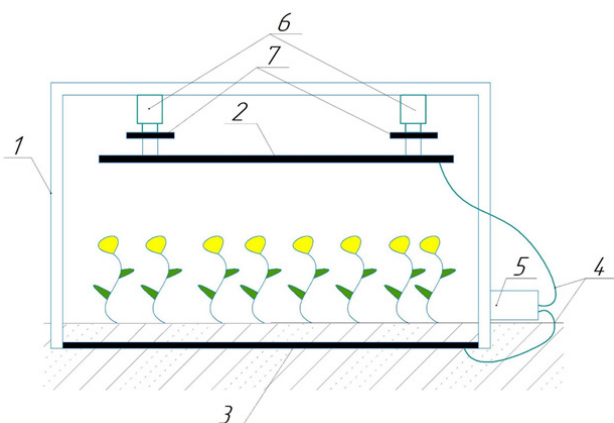


Рис. 1 – Схема устройства для стимулирования роста растений в теплицах
Fig. 1 – Scheme of the device for stimulating plant growth in greenhouses

Устройство для стимулирования роста растений в теплицах на основе электростатического поля работает следующим образом. Источник тока 5 через соединительные провода 4 создает электростатическое поле между положительно

заряженным излучателем 2 и отрицательно заряженным излучателем 3. Электростатическое поле – это стационарное поле, создаваемое неподвижными электрическими излучателями. Их конструкция выполнена в виде сварных металлических сеток и обеспечивает равномерность и однородность электростатического поля на участке с возделываемыми растениями. Напряженность электростатического поля при необходимости регулируют изменением высоты подвеса положительно заряженного излучателя 2. ЭСП может вызывать легкую электролизацию воды, делая её более структурированной и биологически доступной для клеток растения. Электростатическое поле создают в светлое время суток по установленному графику. Это облегчает поступление воды и питательных веществ и ускоряет вывод продуктов метаболизма. Активируются ферменты, ответственные за рост и деление клеток. По мере роста растений положительно заряженный излучатель 2 поднимают относительно растений по высоте для поддержания необходимой напряженности электростатического поля. Для исключения пробоя высокого напряжения положительно заряженный излучатель 2 крепят с помощью изоляторов 7.

Полевой опыт был заложен в условиях защищенного грунта (зимняя теплица), на почво-грунте, подготовленном на основе дерново-подзолистой супесчаной почвы, в четырехкратной повторности, площадь каждой делянки 1 м². Схема опыта: 1 вариант – без обработки (контроль); 2 вариант – стимулирование ЭСП.

Результаты и обсуждение

Эксперименты проводили в теплице агрокомплекса «Алеканово» в селе Алеканово Рязанского района Рязанской области. Посадка лукович осуществилась 01.10.2025 г. Луковичи подготавливали следующим образом: обрезали шейку, высаживали луковичи мостовым способом, прижимая плотно друг к другу. Перед посадкой в грунт заглубляли отрицательный излучатель в виде сетки (рис. 2).



Рис. 2 – Монтаж сетки-излучателя в грунт перед посадкой лука
Fig. 2 – Installing a grid-radiator in the ground before planting onions



После посадки лука его обильно поливали до насыщения, чтобы активизировать прорастание и увеличить напряженность ЭСП, особенно в начальный период для пробуждения точек роста. Над луковичками на высоте около 30 см крепили положительный излучатель в виде сетки (рис. 3). Излучатели подключали к источнику высокого напряжения 25-35 кВ на основе каскадного генератора.



Рис. 3 – Отладка стимуляции растений электростатическим полем
Fig.3 – Calibration plant stimulation with an electrostatic field

Стимуляцию электростатическим полем вели периодически по 2-5 часов в светлое время суток с 7 00 до 13 00 (длительность стимулирования разбивали на сеансы по 30-60 минут с перерывами). Остальное время лук произрастал в обычных условиях при достаточном освещении. Постоянное воздействие ЭСП может вызвать стресс у растения и дать обратный эффект. Напряжение ЭСП подбиралось экспериментально и составляло 25 кВ.

Меры предосторожности: работники теплицы были проинструктированы, на устройстве для стимулирования роста растений в теплицах установлен защитный ограничитель силы тока с пороговым значением 0,0001 А. Влажность в зоне разряда поддерживали умеренной, чтобы избежать короткого замыкания или пробоя. Напряженность ЭСП отслеживали с помощью измерителя напряженности электростатического поля СТ-01 (табл. 1). Следует отметить, что напряженность электростатического поля в значительной степени зависит от влажности почвы.

Через 8 дней после посадки отмечено массовое прорастание лукович (рис. 4). При этом начало прорастания лукович в контрольном варианте было на 3-5 дней (в зависимости от повторности) раньше по сравнению с исследуемым вариантом.

Таблица 1 – Напряженность электростатического поля в зависимости от высоты излучателя над растениями

| Номер экспериментального участка | Высота излучателя над растениями, см | Напряженность электростатического поля В/м |
|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| 1 | 27 | 110 |
| 2 | 38 | 60 |
| 3 | 28 | 100 |
| 4 | 15 | 177 |



Рис. 4 – Органографические исследования проросших лукович
Fig. 4 – Organographic studies of sprouted bulbs

В исследуемом варианте прорастание лукович было более равномерным по всей делянке. ЭСП непосредственно ускоряет процесс деления клеток в меристемных тканях (тканях роста), расположенных в основании пера. Это приводит к более

быстрому появлению и росту зеленых листьев. В контрольном варианте прорастание лукович было неравномерное, очагами. Такое прорастание в контроле мы связываем с неравномерной влажностью почвогрунта в границах опытной делянки. В исследуемом варианте также влажность почвогрунта была неравномерной, однако, прорастание лукович слабо зависело от данного параметра.

Отмечается локально-групповое поражение лукович серой гнилью. При создании электростатического поля часто происходит ионизация окружающего воздуха. В контрольном варианте поражение колебалось от 7 до 12 %, а в исследуемом варианте от 4 до 8 %. Причем локализация (число областей поражения с количеством рядом расположенных лукович более 1) была выше в контрольном варианте и в среднем составила 5 локаций, в исследуемом варианте – 3 локаций. Следует отметить более интенсивное поглощение влаги при стимуляции ЭСП, поэтому был увеличен полив в сравнении с контрольными участками.

Органографическое исследование растений проводилось через 8 и 26 суток после посадки



луковиц (рисунки 4,5). Также проведена оценка влажности почвы на участках с посадками лука с помощью Soil PH meter PH 328 (табл. 2).

Таблица 2 – Влажность почво-грунта, %

| Вариант | Повторность | | | |
|--------------------|-------------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Контроль | 25 | 46 | 50 | 38 |
| Стимулирование ЭСП | 31 | 33 | 38 | 54 |

Анализ таблицы 2 показывает, что даже при увеличенном поливе испарение влаги при стимулировании ЭСП идет более интенсивно.

Таблица 3 – Количество растений, шт.

| Вариант | Общее | | | | Проросших | | | | Не проросших | | | |
|--------------------|-------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|--------------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Контроль | 240 | 272 | 252 | 238 | 201 | 246 | 231 | 221 | 39 | 26 | 21 | 17 |
| Стимулирование ЭСП | 272 | 272 | 288 | 289 | 247 | 258 | 274 | 280 | 25 | 14 | 14 | 9 |

Анализ таблицы 3 показал, что стимуляция ЭСП способствует активизации прорастания спящих луковиц. Разное количество луковиц на квадратном метре объясняется различным размером самих луковиц

Таблица 4 – Количество растений с разной высотой, шт.

| Вариант | С высотой до 5 см | | | | С высотой 5-15 см | | | | С высотой более 15 см | | | |
|--------------------|-------------------|----|----|----|-------------------|-----|-----|-----|-----------------------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Контроль | 85 | 48 | 24 | 59 | 75 | 90 | 79 | 86 | 41 | 54 | 64 | 38 |
| Стимулирование ЭСП | 55 | 99 | 65 | 97 | 106 | 125 | 119 | 133 | 43 | 17 | 45 | 25 |

Анализ высоты растений показал, что высота растений на участке, где производилась стимуляция ЭСП, более стабильна по сравнению с контрольным участком, хотя и несколько отстает по высоте. Одновременное созревание урожая более предпочтительно, особенно для механизированной уборки.

Через 58 суток после посадки луковиц проводилось исследование растений на участках непосредственно перед уборкой (рис. 6).

Во всех вариантах количество растений, сохранившихся к уборке, больше, чем проросших на 26-й день. Это связано с тем, что за исследуемый период дополнительно проросло в контроле от 4 до 6 луковиц, кроме 4-й повторности, где дополнительно 1 луковица погибла; в исследуемом варианте дополнительно проросло от 2 до 6 луковиц.



Рис. 5 – Состояние посадок лука на перо (контроль и со стимуляцией ЭСП).

Fig. 5 – The state of the planting green onions (control and with stimulation of ESF).

Таблица 5 – Количество растений, шт.

| Контроль | Общее | | | | К уборке | | | |
|--------------------|-------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 240 | 272 | 252 | 238 | 207 | 250 | 236 | 220 |
| Стимулирование ЭСП | 272 | 272 | 288 | 289 | 251 | 263 | 280 | 282 |



Таблица 6 – Высота растений перед уборкой

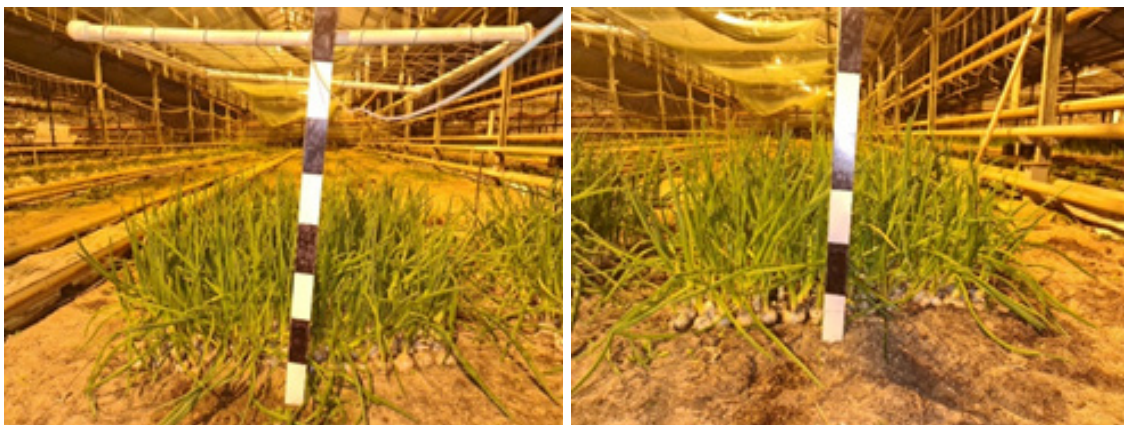
| Вариант | Высота растений, см | | | |
|--------------------|---------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Контроль | 37-50 | 27-51 | 44-52 | 36-40 |
| Стимулирование ЭСП | 29-56 | 40-42 | 38-58 | 42-50 |

Таблица 7 – Состояние растений перед уборкой

| Вариант | Вид повреждения | | | | Степень повреждений | | | |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Контроль | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет |
| Стимулирование ЭСП | ожог пера | ожог пера | ожог пера | ожог пера | единичное | массовое | единичное | единичное |

Анализируя повреждения растений в результате стимуляции ЭСП, следует отметить, что в процессе роста необходимо регулировать высоту подвеса излучателей. Так как растения растут относительно быстро, а листья меняют положение

относительно источника света, необходимо предусматривать систему автоматического контроля высоты излучателей на основе значений напряженности ЭСП.



слева – на участке со стимуляцией ЭСП, справа – на контрольном участке

Рис. 6 – Состояние посадок лука на перо непосредственно перед уборкой

Left - in the area with ESF stimulation, right - in the control area

Fig. 6 – Condition of onion plants for green onions immediately before harvesting

Применение ЭСП повышает количество растений, одновременно достигающих необходимых показателей в период массового сбора урожая по сравнению с традиционным методом.

Таблица 8 – Урожайность лука на перо

| Вариант | Урожайность, кг/м ² | | | | Некондиция, кг/м ² | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | Ср. | 1 | 2 | 3 | 4 | Ср. |
| | 4,322 | 3,413 | 3,300 | 3,429 | 3,616 | 0,291 | 0,223 | 0,370 | 0,600 | 0,371 |
| Стимулирование ЭСП | 4,013 | 4,744 | 3,330 | 4,092 | 4,074 | 0,600 | 0,553 | 0,510 | 0,400 | 0,516 |
| НСР ₀₅ | - | - | - | - | 0,376 | - | - | - | - | - |

Стимулирование ЭСП дало значительную прибавку в урожае, так как разница больше наименьшей существенной разности (НСР₀₅), то есть различия существенны. Таким образом, применение стимуляции способно обеспечить массовое прорастание, быстрый рост и лучшее развитие растений, а также высокую урожайность. Для до-

стижения высоких результатов следует учитывать зависимость напряженности ЭСП от влажности грунта, высоты излучателей над растениями и изменение положения листьев, поэтому необходима система автоматического контроля для исключения повреждений листьев.



Заключение

Стимуляцию электростатическим полем вели периодически по 2-5 часов в светлое время суток с 7 00 до 13 00 (длительность стимулирования разбивали на сеансы по 30-60 минут с перерывами). Остальное время лук произрастал в обычных условиях при достаточном освещении. Напряжение ЭСП подбиралось экспериментально и составляло 25 кВ. Установлено, что высота растений на участке, где производилась стимуляция ЭСП, более стабильна по сравнению с контрольным участком. Таким образом, применение стимуляции позволяет обеспечить массовое прорастание, быстрый рост и лучшее развитие растений, а также высокую урожайность. Стимулирование ЭСП дало значительную прибавку в урожае.

Список источников

1. Авторское свидетельство №967391, МПК А 01 G 7/00, Способ стимулирования роста растений: Заявка: 2922619, 07.05.1980: опубл. 23.10.82, БИ 39/ КОНОНОВ Н. Г.; заявитель Оренбургский политехнический институт. - EDN ZNIUNR.
2. Влияние электростатических полей на регенерационные процессы и гормональную систему картофеля в условиях *in vitro* / Н. Н. Третьяков, В. Н. Овчинникова, Т. И. Лузина, Ч. Сувд // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2006. - № 2. - С. 84-96. - EDN HTSUNR.
3. Влияние электростатического поля на осаждение аэрозоля на растения / А. В. Калинин, М. Ю. Костенко, Г. К. Рембалович [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2025. - Т. 17, № 1. - С. 120-127. - DOI 10.36508/RSATU.2025.96.32.017. - EDN QCDHEJ.
4. Зарипов, Т. Ш. Осаждение заряженных аэрозольных частиц под действием электрических сил / Т. Ш. Зарипов // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. - 2013. - Т. 155, № 3. - С. 53-62. - EDN RWGXCJ.
5. Каменская, К. И. Функциональная роль градиентов потенциалов в растениях / К. И. Каменская, Ю. Х. Шогенов, Н. Н. Третьяков // Электрофизиологические методы в изучении функционального состояния растений : Сборник научных трудов / Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. - Москва : Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 1988. - С. 3-14. - EDN VWJCDH.
6. Ксенз, А. Я. Результаты исследований усовершенствованной технологии электростатического опрыскивания / А. Я. Ксенз // Инновации в сельском хозяйстве. - 2014. - № 4(9). - С. 119-123. - EDN TAOSWV.
7. Патент № 2182759 С2 Российская Федерация, МПК А01G 7/04. Способ стимулирования роста растений в теплицах : № 99126223/13 : заявл. 14.12.1999 : опубл. 27.05.2002 / В. В. Логинов ; заявитель Уральская государственная сельскохозяйственная академия. - EDN ZNIDBB.
8. Самсонова Н.Е., Основы минерального питания растений и технологий применения удобрений: Учебное пособие. - Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2021 г. - 256 с.
9. Убоженко, М. Ю. Электростатическое поле в технологических приложениях (ОБЗОР) / М. Ю. Убоженко // Южно-Сибирский научный вестник. - 2023. - № 6(52). - С. 297-304. - DOI 10.25699/SSSB.2023.52.6.044. - EDN KHQNKQ.
10. Шогенов, Ю. Х. Влияние внешних и биогенных низкоэнергетических электрических потенциалов на адаптацию растений в теплицах / Ю. Х. Шогенов, Н. Н. Третьяков // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2000. - № 3. - С. 61-77. - EDN VTDDNP.
11. Электрокультурное земледелие. Интернет ресурс. Текст: электронный // agtecher.com 2017-2024 — URL: <https://agtecher.com/ru/electro-culture-agriculture/>
12. Хитойлик фермерлар сабзавотларни электр токи орқали тезроқ ўстиришмоқда. Интернет ресурс. Текст: электронный // <https://kun.uz> — URL: <https://kun.uz/kr/news/2018/11/30/hitojlik-fermerlar-sabzavotlarni-elektr-toki-orkali-tezrok-ustirismokda>

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References

1. *Avtorskoe svidetel'stvo №967391, MPK A 01 G 7/00, Sposob stimulirovaniya rosta rastenij: Zavavka: 2922619, 07.05.1980: opubl. 23.10.82, BI 39/ KONONOV N. G.; zavavitel' Orenburgskij politexniceskij institut. - EDN ZNIUNR.*
2. *Vliyanie e'lektrostaticheskix polej na regeneracionny'e processy` i gormonal`nyu sistemu kartofelya v usloviyax in vitro / N. N. Tret`yakov, V. N. Ovchinnikova, T. I. Luzina, Ch. Suvd // Izvestiya Timiryazevskoj sel'skoxozyajstvennoj akademii. - 2006. - № 2. - S. 84-96. - EDN HTSUNR.*
3. *Vliyanie e'lektrostaticheskogo polya na osazhdenie ae`rozolya na rasteniya / A. V. Kalinin, M. Yu. Kostenko, G. K. Rembalovich [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotexnologicheskogo universiteta im. P.A. Kosty`cheva. - 2025. - T. 17, № 1. - S. 120-127. - DOI 10.36508/RSATU.2025.96.32.017. - EDN QCDHEJ.*
4. *Zaripov, T. Sh. Osazhdenie zaryazhenny`x ae`rozol`ny`x chasticz pod dejstviem e`lektricheskix sil / T. Sh. Zaripov // Ucheny`e zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki. - 2013. - T. 155, № 3. - S. 53-62. - EDN RWGXCJ.*
5. *Kamenskaya, K. I. Funkcional`naya rol` gradientov potencialov v rasteniyax / K. I. Kamenskaya, Yu. X. Shogenov, N. N. Tret`yakov // E'lektrofiziologicheskie metody` v izuchenii funkcional`nogo sostoyaniya rastenij*



: Sbornik nauchny`x trudov / Moskovskaya sel'skoxozyajstvennaya akademiya im. K.A. Timiryazeva. – Moskva : Moskovskaya sel'skoxozyajstvennaya akademiya im. K.A. Timiryazeva, 1988. – S. 3-14. – EDN VWJCDH.

6. Ksenz, A. Ya. Rezul'taty` issledovaniy usovershennstovannoj tekhnologii e`lektrostaticheskogo oprы'skivaniya / A. Ya. Ksenz // Innovacii v sel'skom xozyajstve. – 2014. – № 4(9). – S. 119-123. – EDN TAOSWV.

7. Patent № 2182759 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK A01G 7/04. Sposob stimulirovaniya rosta rastenij v teplicax : № 99126223/13 : zayavl. 14.12.1999 : opubl. 27.05.2002 / V. V. Loginov ; zayavitel' Ural'skaya gosudarstvennaya sel'skoxozyajstvennaya akademiya. – EDN ZNIDBB.

8. Samsonova N.E., Osnovy` mineral'nogo pitaniya rastenij i tekhnologij primeneniya udobrenij: Uchebnoe posobie. – Smolensk: FGBOU VO Smolenskaya GSXA, 2021 g. – 256 s.

9. Ubozhenko, M. Yu. E`lektrostaticheskoe pole v tekhnologicheskix prilozheniyax (OBZOR) / M. Yu. Ubozhenko // Yuzhno-Sibirskij nauchny`j vestnik. – 2023. – № 6(52). – S. 297-304. – DOI 10.25699/SSSB.2023.52.6.044. – EDN KHQNKQ.

10. Shogenov, Yu. X. Vliyaniye vneshnix i biogenny`x nizkoe`nergeticheskix e`lektricheskix potencialov na adaptaciyu rastenij v teplicax / Yu. X. Shogenov, N. N. Tret'yakov // Izvestiya Timiryazevskoj sel'skoxozyajstvennoj akademii. – 2000. – № 3. – S. 61-77. – EDN VTDDNP.

11. E`lektrokul'turnoe zemledeliye. Internet resurs. Tekst: e`lektronny`j //agtecher.com 2017-2024 — URL: <https://agtecher.com/ru/electro-culture-agriculture/>

12. Xitjlik fermerlar sabzavotlarni e`lektro toki orqali tezroq`stirishmoqda. Internet resurs. Tekst: e`lektronny`j // <https://kun.uz> — URL: <https://kun.uz/kr/news/2018/11/30/hitjlik-fermerlar-sabzavotlarni-elektro-toki-orkali-tezroq-ustirismokda>

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Костенко Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и технических систем в АПК, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kostenko.mihail2016@yandex.ru

Ремболович Георгий Константинович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии материалов и технических систем в АПК, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Безносюк Роман Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии материалов и технических систем в АПК, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», romario345830@yandex.ru

Фадкин Геннадий Николаевич, канд. с-х. наук, доцент зав. кафедрой лесного дела и садоводства, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», g-fadkin@mail.ru

Калинин Андрей Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», andrey_kalinin98@mail.ru

Author Information

Mikhail Yu. Kostenko, D.Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Technology of Materials and Technical Systems in the Agro-Industrial Complex, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kostenko.mihail2016@yandex.ru

Georgiy K. Rembalovich, D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology of Materials and Technical Systems in the Agro-Industrial Complex, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru

Roman V. Beznosyuk, Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technology of Materials and Technical Systems in the Agro-Industrial Complex, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, romario345830@yandex.ru

Gennady N. Fadkin, Ph.D. (Agri.), Associate Professor, Head of the Department of Forestry and Horticulture, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, g-fadkin@mail.ru

Andrey V. Kalinin, postgraduate student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, andrey_kalinin98@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.11.2025; одобрена после рецензирования 05.12.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 11.11.2025; approved after reviewing 05.12.2025; accepted for publication 15.12.2025



Вестник РГАТУ. 2025, т.17, №4, с.141-150
Vestnik RGATU. 2025, Vol.17, №4, pp. 141-150

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 632.93; 004.9
DOI: 10.36508/RSATU.2025.60.45.018

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОТРАВЛИВАНИЯ СЕМЯН В БАРАБАННОМ СМЕСИТЕЛЕ

Михаил Юрьевич Костенко¹ ✉, Илья Михайлович Салапин², Михаил Николаевич Чаткин³

^{1,2} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

³ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г.Саранск, Россия

¹ kostenko.mihail2016@yandex.ru

² 1234-99-99@mail.ru

³ chatkinm@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель исследования. Недостаточно эффективная протравка семян является причиной развития болезней у сельскохозяйственных культур, приводит к недружным и слабым всходам, гибели зародышей и, как результат, к получению низкого урожая. Цель данного исследования заключается в создании метода для качественной оценки результатов обработки семян протравителем перед их посевом.

Методология. Данное исследование базируется на комплексном подходе, который сочетает в себе экспериментальные работы по подготовке протравленных семян и объективный анализ результата протравливания с использованием специализированного программного обеспечения, позволяющего определить равномерность распределения протравителя по поверхности семян.

Результаты. Решение задачи представлено с помощью разработанной лабораторной установки по смешиванию семян и программного комплекса ImageJ. Использование программного комплекса ImageJ в качестве инструмента анализа равномерности распределения протравителя обусловлено его широкими возможностями обработки изображений и наличием специализированных плагинов, позволяющих проводить количественную оценку распределения веществ на поверхности объектов. Применяемый алгоритм обработки изображений, полученных с помощью цифровой фотокамеры, используется для оценки содержания протравителя на поверхности семян.

Заключение. Использование программного комплекса ImageJ для анализа изменения цветовой палитры при смешивании семян в гладком барабанном смесителе показало четкую тенденцию к доминированию красного цвета и его оттенков, что служит цветовым маркером качества протравливания семян. Значительное сокращение разнообразия цветов с 178 до 119 и практически полное подавление значений зеленых и синих компонентов на заключительном этапе экспериментального процесса подтверждают эффективность протравливания. Данные выводы не только подчеркивают важность цветового анализа в оценке качества семян, но и открывают новые возможности для оптимизации методов обработки семенного материала. Результаты исследования могут быть полезны для дальнейших разработок в данной области, способствуя улучшению технологий протравливания и повышения качества семенного материала.

Ключевые слова: барабанный смеситель, программный комплекс ImageJ, смешивание семян, протравитель семян, цветовой анализ поверхности

Для цитирования: Костенко М.Ю., Салапин И.М., Чаткин М.Н. Оценка качества протравливания семян в барабанном смесителе // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т17, №4, С.141-150 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.60.45.018](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.60.45.018)



Original article

EVALUATION OF THE QUALITY OF SEED PICKLING IN A DRUM MIXER

Mikhail Yu. Kostenko¹✉, Ilya M. Salapin², Mikhail N. Chatkin³

^{1,2} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

³ National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk, Russia

¹ kostenko.mihail2016@yandex.ru

² 1234-99-99@mail.ru

³ chatkinm@yandex.ru

Annotation.

Problem and purpose. Insufficiently effective seed dressing causes the development of diseases in agricultural crops, leads to unfriendly and weak seedlings, death of embryos and, as a result, to a low yield. The purpose of this study is to create a method for a qualitative assessment of the results of seed treatment with mordants before sowing.

Methodology. This study is based on an integrated approach that combines experimental work on the preparation of etched seeds and an objective analysis of the result of etching using specialized software to determine the uniformity of the distribution of the etcher on the surface of the seeds.

Results. The solution to the problem is presented using the developed laboratory plant for mixing seeds and the ImageJ software package. The use of the ImageJ software package as a tool for analyzing the uniformity of the mordant distribution is due to its extensive image processing capabilities and the availability of specialized plug-ins that allow for a quantitative assessment of the distribution of substances on the surface of objects. The applied algorithm for processing images obtained using a digital camera is used to quantify the content of the mordant on the surface of seeds.

Conclusion. The use of the ImageJ software package to analyze changes in the color palette when mixing seeds in a smooth drum mixer showed a clear tendency towards the dominance of red and its shades, which serves as a color marker for the quality of seed treatment. A significant reduction in the color diversity from 178 to 119 and an almost complete suppression of the values of the green and blue components at the final stage of the experimental process confirm the effectiveness of etching. These findings not only emphasize the importance of color analysis in assessing seed quality, but also open up new opportunities for optimizing seed treatment methods. The results of the study may be useful for further developments in this field, contributing to the improvement of pickling technologies and improving the quality of seed material.

Key words: drum mixer, ImageJ software package, seed mixing, seed etcher, surface color analysis

For citation: Kostenko M.Yu., Salapin I.M., Chatkin M. N. Evaluation of the quality of seed pickling in a drum mixer // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No. 4, P.141-150 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.60.45.018>

Введение

Для достижения стабильных и высоких урожаев необходимо поддерживать высокий уровень защиты растений. Почти каждое сельскохозяйственное предприятие сталкивается с проблемой некачественных семян. Протравливание семян – это специальный процесс, в ходе которого используются химические препараты с целью уничтожения патогенных грибов и бактерий, которые могут вызвать заболевания у растений. В данной работе осуществлена разработка метода оценки качества протравливания семян в барабанном смесителе, что является ключевым аспектом для успешного результата обработки семян перед их высевом.

Материалы и методы исследования

Для оценки качества протравливания семян была создана специальная лабораторная установка (рис. 1). Эта установка предназначена для смешивания семян в гладком барабанном смесителе, который обеспечивает равномерное распределение компонентов протравителя по поверхности зерновки без нанесения им травм. В рамках

эксперимента использовались партии семян ячменя сорта Грейс влажностью 12%, которые были обработаны трехкомпонентным стробилуринсодержащим системным протравителем под названием «Оплот Трио». Этот протравитель обладает ростостимулирующим эффектом и обеспечивает надежную защиту семян от различных патогенов, а также способствует иммунизации растений, что крайне важно для их здоровья и продуктивности [1,2,3].

Красный цвет, используемый как маркер в протравителе семян «Оплот Трио», играет важную роль в их идентификации. Поэтому специалисты хозяйств в большинстве случаев определяют качество протравки семян перед севом, полагаясь на визуальную их оценку или на соотношение израсходованного протравителя с объемом обработанных семян согласно инструкции завода изготовителя. Но данная оценка не даёт полной картины результата обработки семян. В этой связи необходим метод, который позволит объективно оценить результат покрытия семян защитными



средствами. Так как в нашем случае присутствует в протравителе красный маркер, то целесообразно использовать в работе такой программный

инструмент как ImageJ (рис. 2), который осуществляет анализ цифровых изображений [4,5,6].

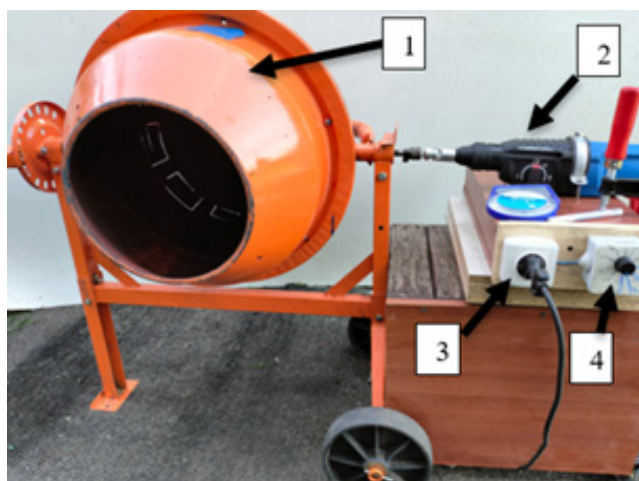


Рис. 1 – Лабораторная установка для смешивания семян в гладком барабанном смесителе

1 – гладкий барабанный смеситель семян;
2 – электропривод; 3 – электрическое питание привода; 4 – регулятор оборотов

Fig. 1 – Laboratory setup for mixing seeds in a smooth drum mixer

1 – smooth drum seed mixer; 2 – electric drive;
3 – electric drive power supply; 4 – speed control

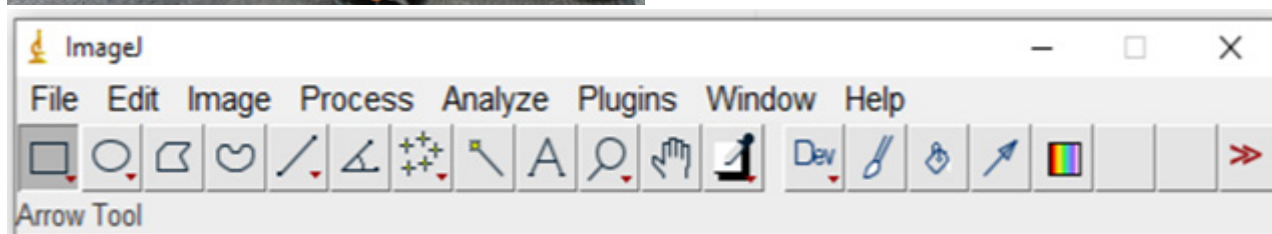


Рис. 2 – Интерфейс управления программным инструментом ImageJ

Fig. 2 – ImageJ software tool management interface

Пользоваться данным программным обеспечением достаточно несложно, а скорость обработки цифровой информации у него высокая. Для анализа изображений в ImageJ необходимо сделать с помощью цифровой фотокамеры снимок с высоким разрешением и в соответствующем формате, в нашем случае это формат JPG. Так как программа работает с каждым пикселем загруженного в неё изображения, то размер и качество фотографии играют важную роль в получении конечного результата.

Для обработки полученных в ходе экспериментов цифровых фотографий размером 5100x2700 в программе ImageJ будем применять плагин Color Inspector 3D. Выбор Color Inspector 3D обусловлен тем, что это мощный инструмент для анализа и отображения цветовой информации в трехмерном формате. Основные возможности плагина Color Inspector 3D включают в себя трёхмерную визуализацию, интерактивный анализ, управление палитрой, отображение градиентов, кодирование данных, а также поддержку различных форматов загрузки. Его активно используют в разнообразных сферах: научных изысканиях, медицинской диагностике, материаловедении, дизайне и художественном творчестве. Плагин Color Inspector 3D для ImageJ предоставляет такие функции как Color Space: HSB и Display Mode: Histogram. Главные плюсы функции Color Space: HSB – это упрощённое восприятие цвета; возможность раздельного изучения оттенка, насыщенности и ярко-

сти; а также упрощение отбора объектов по цвету. Преимущества функции Display Mode: Histogram заключаются в том, что она позволяет наглядно отслеживать доминирование цветов и оттенков на изображении; помогает обнаружить ошибки с экспозицией и контрастом; облегчает принятие взвешенных решений при последующей обработке снимков. Использование данных функций в плагине Color Inspector 3D позволяет проводить более глубокий анализ цветовой информации [7,8,9].



Рис. 3 – Партия семян не протравленного и протравленного ячменя в гладком барабанном смесителе

Fig. 3 – Batch of unbleached and bleached barley seeds in a smooth drum mixer



Результаты исследований и их обсуждение

В ходе эксперимента были использованы для смешивания два вида семян ячменя: не протравленный и протравленный (рис. 3). Каждый из них имел массу 3,5 килограмма, что в сумме составило 7 килограммов семян. Поскольку не протравленный ячмень составил половину общей массы семян, для подготовки протравленного ячменя был взят протравитель с двойной концентрацией. Это решение было принято с целью обеспечения переноса части активных веществ с протравленных семян на непротравленные в процессе смешивания. Смешивание семян ячменя происходило в гладком барабанном смесителе (рис. 3) [10].

Для фиксации результатов смешивания семян был использован цифровой фотоаппарат Sony a58, который обеспечивает высокое разрешение снимков. Фотографирование семян происходило после того, как барабанный смеситель завершал один полный оборот, при этом расстояние до семян оставалось постоянным. Обороты продолжались до тех пор, пока семена не были полностью покрыты протравителем. Барабанный смеситель приводился в действие с помощью электропривода из расчёта 30 оборотов в минуту. Полученные снимки загружались в программу ImageJ для анализа.

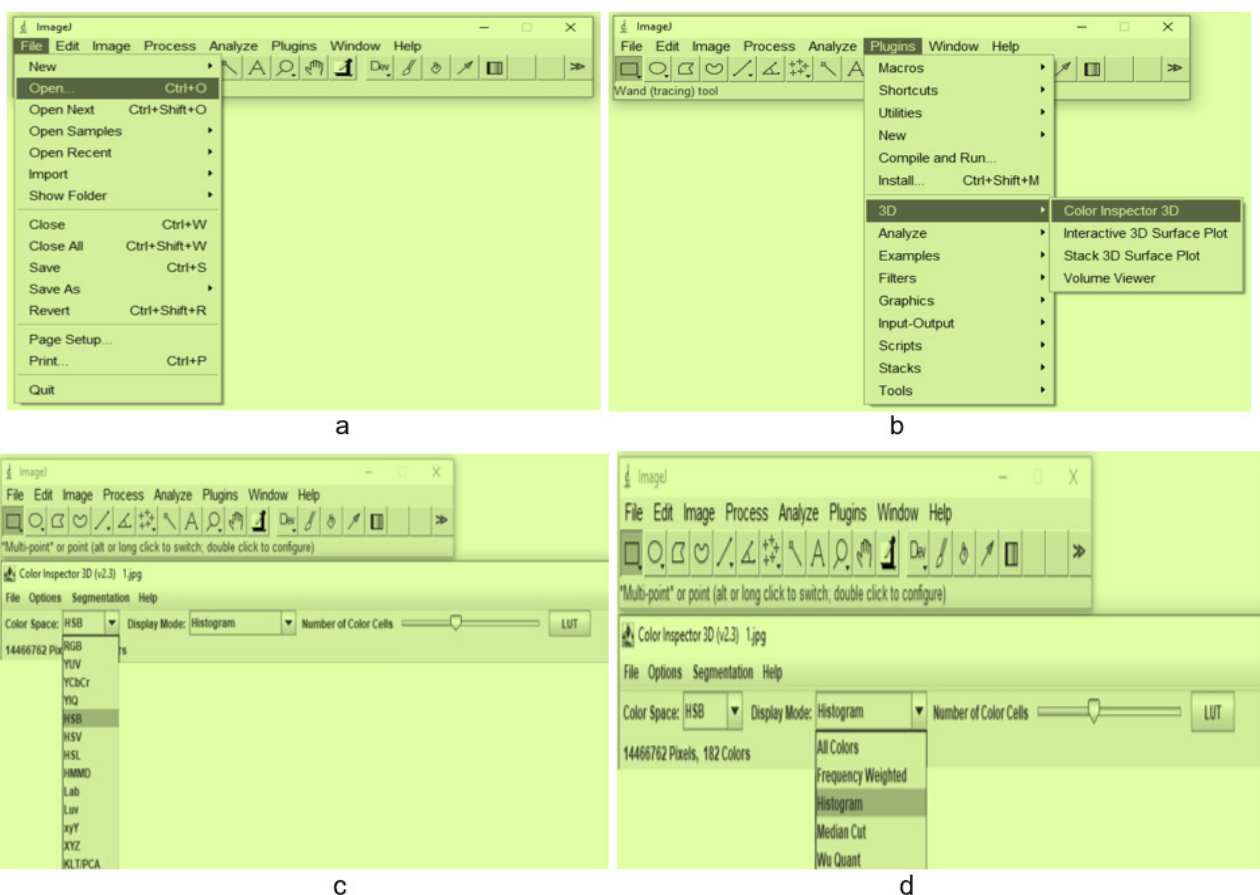


Рис. 4 – Последовательность действий при анализе цифровых изображений в программе ImageJ
а – загрузка фотографии; б – открытие инструмента Color Inspector 3D для визуализации и анализа цветовой информации в трехмерном пространстве; в – функция включения Color Space: HSB;
д – функция включения Display Mode: Histogram

Fig. 4 – Sequence of actions when analyzing digital images in the ImageJ program

а – uploading photos; б – opening the Color Inspector 3D tool for visualizing and analyzing color information in three-dimensional space; в – enabling Color Space: HSB; д – enabling Display Mode: Histogram

Полученные результаты наглядно демонстрируют на гистограмме изменение цветовой палитры с тенденцией к единому красному цвету с его оттенками. Если на первой гистограмме кроме красных оттенков присутствуют и другие, то на шестой гистограмме – только красные цвета и их оттенки.

Количество цветов (Colors) на первом изображении (рис. 5а) составляло 178 видов, тогда как на последнем изображении (рис. 5ф) их количество снизилось до 119. Это говорит о том, что цветовые тона приобрели одинаково схожие оттенки.

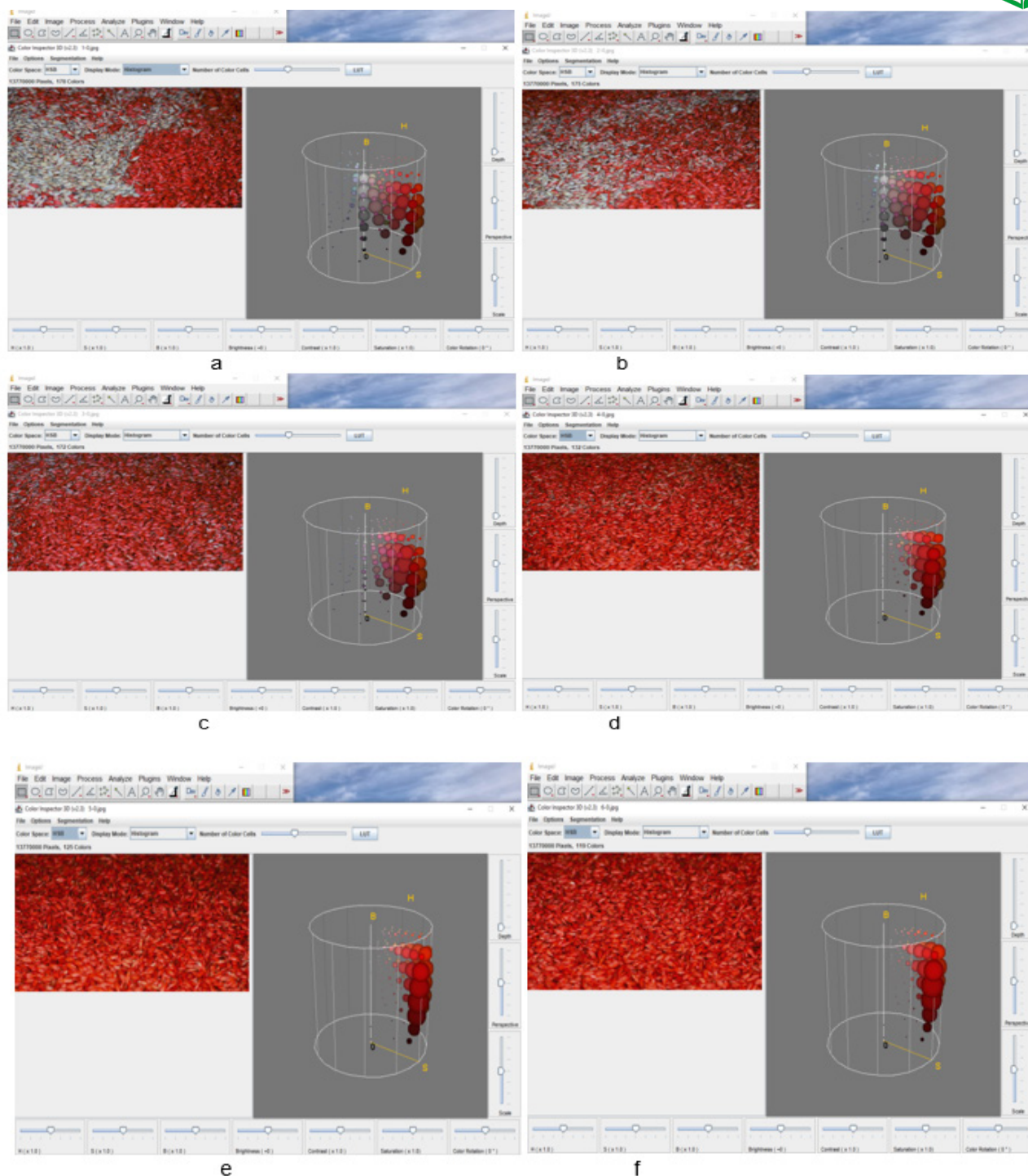


Рис. 5 – Результат обработки цифровых изображений в программе ImageJ

- a – результат анализа фотографии сделанной после 1 оборота барабанного смесителя семян;
- b – результат анализа фотографии сделанной после 2 оборота барабанного смесителя семян;
- c – результат анализа фотографии сделанной после 3 оборота барабанного смесителя семян;
- d – результат анализа фотографии сделанной после 4 оборота барабанного смесителя семян;
- e – результат анализа фотографии сделанной после 5 оборота барабанного смесителя семян;
- f – результат анализа фотографии сделанной после 6 оборота барабанного смесителя семян.

Fig. 5 – Result of digital image processing in the ImageJ program

- a – the result of analyzing a photo taken after 1 revolution of the seed mixer drum;
- b – the result of analyzing a photo taken after 2 revolutions of the seed mixer drum;
- c – the result of analyzing a photo taken after 3 revolutions of the seed mixer drum;
- d – the result of analyzing a photo taken after 4 revolutions of the seed mixer drum;
- e – the result of analyzing a photo taken after 5 rotation of the drum mixer of seeds;
- f – the result of analyzing the photo taken after the 6th revolution of the drum mixer of seeds

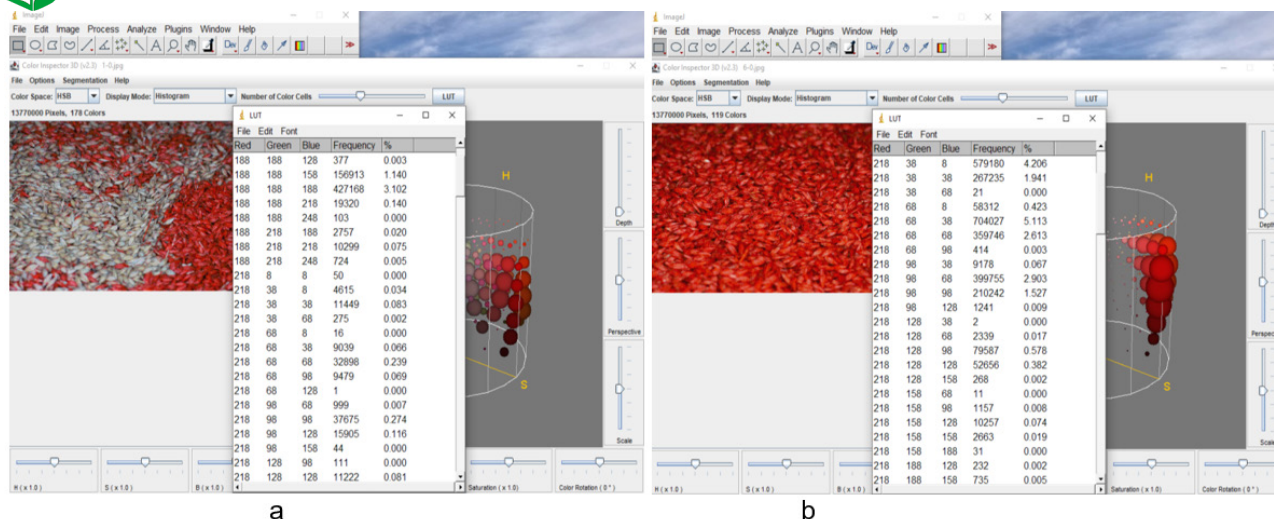


Рис. 6 – Таблица соответствий LUT

a – таблица соответствий LUT после 1 оборота барабанного смесителя семян;

b – таблица соответствий LUT после 6 оборотов барабанного смесителя семян

Fig. 6 – LUT correspondence table

a – is the LUT correspondence table after 1 revolution of the drum seed mixer;

b – is the LUT correspondence table after 6 revolutions of the drum seed mixer

На рисунке 6 представлена функция LUT в Color Inspector 3D, которая создает сопоставление между числовыми значениями пикселей и соответствующими цветами в виде таблицы. В данной таблице представлены данные, отражающие цветовые компоненты в формате RGB, который включает три основных цвета: красный (Red), зеленый (Green) и синий (Blue). Каждый из этих цветов имеет свое значение интенсивности, которое может варьироваться в пределах от 0 до 255. Значение 0 указывает на полное отсутствие цвета, тогда как

значение 255 обозначает максимальную интенсивность данного цвета. Например, если значение красного компонента (Red) равно 255, это означает, что красный цвет в пикселе представлен наивысшей интенсивностью.

На рисунках 7 и 8 представлены две таблицы функции LUT, которые иллюстрируют цветовую палитру, полученную в результате смешивания семян после первого оборота барабанного смесителя семян и после шестого оборота барабанного смесителя, соответственно.

| Цветовая модель RGB | | | Количество пикселей в данном цвете | Процентное соотношение пикселей относительно общего количества |
|--|--|---|------------------------------------|--|
| Интенсивность красного компонента цвета Red | Интенсивность зелёного компонента цвета Green | Интенсивность синего компонента цвета Blue | | |
| 158 | 8 | 8 | 2030243 | 14,744 |
| 128 | 8 | 8 | 1798499 | 13,061 |
| 188 | 8 | 8 | 1446186 | 10,502 |
| 188 | 38 | 8 | 1183024 | 8,59 |
| 158 | 38 | 8 | 904681 | 6,57 |
| 188 | 38 | 38 | 868063 | 6,304 |
| 98 | 8 | 8 | 751409 | 5,457 |
| 218 | 68 | 38 | 704027 | 5,113 |
| 218 | 38 | 8 | 579180 | 4,206 |
| 188 | 68 | 38 | 430382 | 3,126 |
| 218 | 98 | 68 | 399755 | 2,903 |
| 128 | 38 | 8 | 384427 | 2,792 |
| 218 | 68 | 68 | 359746 | 2,613 |
| 158 | 38 | 38 | 307555 | 2,234 |
| 188 | 68 | 68 | 275768 | 2,003 |
| 218 | 38 | 38 | 267235 | 1,941 |
| 218 | 98 | 98 | 210242 | 1,527 |
| 68 | 8 | 8 | 165416 | 1,201 |
| 218 | 8 | 8 | 97090 | 0,705 |
| 98 | 38 | 8 | 96519 | 0,701 |
| 218 | 128 | 98 | 79587 | 0,578 |
| 218 | 68 | 8 | 58312 | 0,423 |
| 218 | 128 | 128 | 52656 | 0,382 |
| 158 | 68 | 38 | 48089 | 0,349 |



| | | | | |
|-----|-----|-----|-------|-------|
| 128 | 38 | 38 | 43448 | 0,316 |
| 188 | 98 | 68 | 33661 | 0,244 |
| 188 | 98 | 98 | 31279 | 0,227 |
| 158 | 68 | 68 | 18691 | 0,136 |
| 38 | 8 | 8 | 18639 | 0,135 |
| 248 | 128 | 98 | 13598 | 0,099 |
| 248 | 98 | 68 | 12929 | 0,094 |
| 218 | 158 | 128 | 10257 | 0,074 |
| 218 | 98 | 38 | 9178 | 0,067 |
| 248 | 128 | 128 | 9139 | 0,066 |
| 188 | 128 | 98 | 8660 | 0,063 |
| 248 | 98 | 98 | 7921 | 0,058 |
| 248 | 68 | 38 | 5482 | 0,04 |
| 188 | 128 | 128 | 4496 | 0,033 |
| 248 | 158 | 128 | 3951 | 0,029 |
| 188 | 68 | 8 | 3982 | 0,029 |
| 128 | 68 | 38 | 3771 | 0,027 |
| 188 | 158 | 128 | 2654 | 0,019 |
| 218 | 158 | 158 | 2663 | 0,019 |
| 68 | 38 | 8 | 2631 | 0,019 |
| 98 | 38 | 38 | 2575 | 0,019 |
| 218 | 128 | 68 | 2339 | 0,017 |
| 158 | 98 | 68 | 2252 | 0,016 |
| 248 | 158 | 158 | 1661 | 0,012 |
| 248 | 68 | 68 | 1414 | 0,01 |
| 218 | 98 | 128 | 1241 | 0,009 |
| 158 | 98 | 98 | 1256 | 0,009 |
| 188 | 68 | 98 | 1280 | 0,009 |
| 218 | 158 | 98 | 1157 | 0,008 |
| 248 | 98 | 38 | 1000 | 0,007 |
| 218 | 188 | 188 | 765 | 0,006 |
| 128 | 68 | 68 | 873 | 0,006 |
| 218 | 188 | 158 | 735 | 0,005 |
| 248 | 68 | 8 | 492 | 0,004 |
| 218 | 68 | 98 | 414 | 0,003 |
| 218 | 218 | 218 | 354 | 0,003 |
| 248 | 38 | 38 | 389 | 0,003 |
| 188 | 98 | 128 | 438 | 0,003 |
| 188 | 158 | 158 | 338 | 0,002 |
| 188 | 188 | 158 | 287 | 0,002 |
| 218 | 128 | 158 | 268 | 0,002 |
| 218 | 188 | 128 | 232 | 0,002 |
| 248 | 38 | 8 | 255 | 0,002 |
| 158 | 128 | 98 | 316 | 0,002 |
| 188 | 38 | 68 | 261 | 0,002 |
| 188 | 98 | 38 | 341 | 0,002 |
| 188 | 128 | 68 | 274 | 0,002 |
| 218 | 218 | 188 | 147 | 0,001 |
| 248 | 128 | 68 | 159 | 0,001 |

Рис. 7 – Цветовая модель RGB функции LUT смешивания семян ячменя за 1 оборот смесителя

Fig. 7 – RGB color model of the LUT function for mixing barley seeds in 1 revolution of the mixer

| Цветовая модель RGB | | | Количество пикселей в данном цвете | Процентное соотношение пикселей относительно общего количества |
|--|--|---|------------------------------------|--|
| Интенсивность красного компонента цвета Red | Интенсивность зелёного компонента цвета Green | Интенсивность синего компонента цвета Blue | | |
| 158 | 158 | 158 | 847593 | 6,155 |
| 98 | 38 | 8 | 759574 | 5,516 |
| 128 | 128 | 128 | 750028 | 5,447 |
| 128 | 98 | 98 | 705765 | 5,125 |
| 128 | 38 | 8 | 603522 | 4,383 |
| 158 | 38 | 38 | 580417 | 4,215 |
| 128 | 38 | 38 | 562086 | 4,082 |
| 158 | 128 | 128 | 513406 | 3,728 |
| 98 | 68 | 68 | 498911 | 3,623 |
| 188 | 188 | 188 | 427168 | 3,102 |
| 158 | 38 | 8 | 413512 | 3,003 |
| 128 | 8 | 8 | 402477 | 2,923 |



| | | | | |
|-----|-----|-----|--------|-------|
| 98 | 98 | 98 | 387791 | 2,816 |
| 68 | 8 | 8 | 385553 | 2,800 |
| 98 | 38 | 38 | 356147 | 2,586 |
| 188 | 68 | 68 | 343846 | 2,497 |
| 98 | 8 | 8 | 340412 | 2,472 |
| 188 | 38 | 38 | 338238 | 2,456 |
| 128 | 68 | 68 | 322818 | 2,344 |
| 158 | 158 | 128 | 312635 | 2,270 |
| 158 | 68 | 68 | 280729 | 2,039 |
| 68 | 38 | 38 | 218286 | 1,585 |
| 158 | 8 | 8 | 213494 | 1,550 |
| 158 | 98 | 98 | 203061 | 1,475 |
| 68 | 68 | 68 | 184011 | 1,336 |
| 188 | 188 | 158 | 156913 | 1,140 |
| 128 | 128 | 98 | 153140 | 1,112 |
| 68 | 38 | 8 | 149967 | 1,089 |
| 158 | 188 | 188 | 132427 | 0,962 |
| 188 | 38 | 8 | 124147 | 0,902 |
| 188 | 158 | 158 | 119761 | 0,870 |
| 188 | 98 | 98 | 105844 | 0,769 |
| 98 | 68 | 38 | 99503 | 0,723 |
| 38 | 8 | 8 | 94328 | 0,685 |
| 158 | 128 | 98 | 92674 | 0,673 |
| 98 | 98 | 68 | 90223 | 0,655 |
| 128 | 98 | 68 | 86455 | 0,628 |
| 188 | 68 | 98 | 85330 | 0,620 |
| 188 | 68 | 38 | 71750 | 0,521 |
| 128 | 68 | 38 | 63272 | 0,459 |
| 158 | 158 | 188 | 62203 | 0,452 |
| 128 | 158 | 158 | 61763 | 0,449 |
| 158 | 68 | 38 | 57605 | 0,418 |
| 128 | 98 | 128 | 54002 | 0,392 |
| 128 | 128 | 158 | 49774 | 0,361 |
| 188 | 8 | 8 | 46829 | 0,340 |
| 188 | 128 | 128 | 46047 | 0,334 |
| 158 | 98 | 128 | 45014 | 0,327 |
| 68 | 68 | 38 | 44477 | 0,323 |
| 158 | 188 | 158 | 43733 | 0,318 |
| 188 | 98 | 128 | 43288 | 0,314 |
| 158 | 68 | 98 | 42888 | 0,311 |
| 38 | 38 | 38 | 41450 | 0,301 |
| 158 | 128 | 158 | 40240 | 0,292 |
| 218 | 98 | 98 | 37675 | 0,274 |
| 98 | 68 | 98 | 33248 | 0,241 |
| 218 | 68 | 68 | 32898 | 0,239 |
| 158 | 38 | 68 | 32703 | 0,237 |
| 128 | 68 | 98 | 28877 | 0,210 |
| 98 | 98 | 128 | 24031 | 0,175 |
| 188 | 38 | 68 | 23576 | 0,171 |
| 128 | 38 | 68 | 20636 | 0,150 |
| 188 | 188 | 218 | 19320 | 0,140 |
| 188 | 158 | 128 | 19127 | 0,139 |
| 128 | 158 | 128 | 18922 | 0,137 |
| 188 | 128 | 158 | 18396 | 0,134 |
| 158 | 98 | 68 | 16701 | 0,121 |
| 218 | 98 | 128 | 15905 | 0,116 |
| 98 | 128 | 128 | 12479 | 0,091 |
| 8 | 8 | 8 | 11864 | 0,086 |
| 218 | 38 | 38 | 11449 | 0,083 |
| 68 | 38 | 68 | 11487 | 0,083 |
| 218 | 128 | 128 | 11222 | 0,081 |
| 188 | 158 | 188 | 10705 | 0,078 |
| 188 | 218 | 218 | 10299 | 0,075 |
| 218 | 68 | 98 | 9479 | 0,069 |
| 68 | 68 | 98 | 9355 | 0,068 |
| 218 | 68 | 38 | 9039 | 0,066 |
| 98 | 38 | 68 | 6497 | 0,047 |
| 218 | 128 | 158 | 5842 | 0,042 |
| 38 | 38 | 8 | 5591 | 0,041 |



| | | | | |
|-----|-----|-----|------|-------|
| 218 | 38 | 8 | 4615 | 0,034 |
| 188 | 98 | 68 | 4096 | 0,030 |
| 38 | 8 | 38 | 3828 | 0,028 |
| 188 | 218 | 188 | 2757 | 0,020 |
| 158 | 188 | 218 | 2813 | 0,020 |
| 188 | 128 | 98 | 2383 | 0,017 |
| 128 | 158 | 188 | 1995 | 0,014 |
| 218 | 158 | 158 | 1737 | 0,013 |
| 68 | 98 | 98 | 1725 | 0,013 |
| 98 | 128 | 98 | 1761 | 0,013 |
| 218 | 188 | 188 | 1498 | 0,011 |
| 218 | 218 | 218 | 1513 | 0,011 |
| 38 | 38 | 68 | 1574 | 0,011 |
| 158 | 8 | 38 | 1541 | 0,011 |
| 158 | 158 | 98 | 1351 | 0,010 |
| 68 | 8 | 38 | 1300 | 0,009 |
| 218 | 98 | 68 | 999 | 0,007 |
| 188 | 98 | 158 | 988 | 0,007 |
| 188 | 218 | 248 | 724 | 0,005 |
| 218 | 158 | 188 | 756 | 0,005 |
| 128 | 8 | 38 | 705 | 0,005 |
| 8 | 8 | 38 | 560 | 0,004 |
| 188 | 188 | 128 | 377 | 0,003 |
| 98 | 128 | 158 | 447 | 0,003 |
| 188 | 8 | 38 | 442 | 0,003 |
| 218 | 38 | 68 | 275 | 0,002 |
| 218 | 218 | 188 | 225 | 0,002 |
| 38 | 68 | 68 | 247 | 0,002 |
| 68 | 98 | 68 | 183 | 0,001 |
| 158 | 128 | 68 | 198 | 0,001 |
| 188 | 128 | 188 | 156 | 0,001 |

Рис. 8 – Цветовая модель RGB функции LUT смешивания семян ячменя за 6 оборотов смесителя.

Fig. 8 – RGB color model of the LUT function for mixing barley seeds in 6 rotations of the mixer

Анализируя представленные таблицы, можно прийти к заключению о том, как происходит смешивание цветов в процессе работы смесителя, а также определить, какие оттенки доминируют в итоговой смеси семян. Это дает возможность оценить эффективность протравливания семян и может быть полезным для дальнейшего анализа и улучшения процессов, связанных с регулировкой работы протравителя семян.

Заключение

Полученные данные с помощью программного комплекса ImageJ наглядно демонстрируют трансформацию цветовой палитры в процессе смешивания семян, выявляя четкую тенденцию к доминированию красного цвета и его оттенков, а это и есть цветовой маркер протравителя семян. Изначальное разнообразие цветовых компонентов, зафиксированное на первой гистограмме, постепенно сменяется однородностью, отраженной на заключительном этапе (рис. 5f), где преобладают исключительно красные тона. Значительное сокращение количества цветов со 178 до 119 служит подтверждением этого смещения к единообразию.

Анализ функции LUT, представленной в Color Inspector 3D, позволяет детально рассмотреть изменения цветовых компонентов в формате RGB (красный, зеленый, синий). Сравнительный анализ таблиц LUT на рисунках 7 и 8 четко показывает, как после шести оборотов барабанного смесителя красный цвет RGB (Red) становится доминирующим 99,99 %, подавляя значения зеленых и синих компонентов.

Полученные результаты от применения ImageJ

в оценке качества протравливания семян показали высокую эффективность использования данного инструмента в этой сфере деятельности. Данное программное обеспечение позволяет быстро и всесторонне оценить результат работы протравителя семян, что важно в условиях весенней подготовки семян к севу в сжатые сроки.

Список источников

- 1 Коновалов, В. В. Моделирование качества смешивания сыпучих материалов барабанным смесителем / В. В. Коновалов, Н. В. Дмитриев, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, – 2013 – №9, т. 1 – С. 77-85.
- 2 Ступин, В. А. Разработка и обоснование рациональных параметров барабанного протравливателя с кольцевыми вставками, автореферат / В.А. Ступин // БГАУ, - 2021. - 19 с.
- 3 Петрова, С. С. К вопросу определения качества смеси у барабанного смесителя / С. С. Петрова, С. А. Кшикаткин, Н. В. Дмитриев // Известия Самарской ГСХА, – 2012. – №3. – С. 67-72.
- 4 Першин, В.Ф. Энергетический метод описания движения сыпучего материала в поперечном сечении гладкого вращающегося цилиндра / В.Ф. Першин // Теоретические основы химической технологии, – 1988. – Т. 22, № 2. – С. 255 – 260.
5. Селиванов, Ю.Т. Расчет и проектирование циркуляционных смесителей сыпучих материалов без внутренних перемешивающих устройств / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Машиностроение-1, - 2004. – 120 с.
- 6 Конюхов, А.Л. Руководство к использованию



программного комплекса ImageJ для обработки изображений / А.Л. Конюхов // ТУСУР, - 2012. – 105 с.

7 Моргун, А.В. Использование пакета программного комплекса «ImageJ / FIJI» для обработки изображений / А. В. Моргун, Е. Д. Хилажева, Е. Б. Бойцова // ФГБОУ ВО КрасГМУ, - 2018. – 72 с.

8 Bankhead, P. Analyzing fluorescence microscopy images with ImageJ. – Belfast: Queen's University, - 2014. – 195 с.

9. Косарева, А. А. Использование плагинов пакета ImageJ для обработки КТ-снимков / А. А. Косарева // Электронные системы и технологии, 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов / БГУИР. - 2019. – 326 с.

10. Трофимов, А.В. Исследование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах без внутренних устройств / А.В. Трофимов // МИХМ, - 1973. – 140с.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References

1 Kononov, V. V. Modelirovanie kachestva smeshivaniya sypuchih materialov barabannym smesitelem / V. V. Kononov, N. V. Dimitriev, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastojashhego pljus, – 2013 – №9, t. 1 – S. 77-85.

2 Stupin, V. A. Razrabotka i obosnovanie racional'nyh parametrov barabannogo protravlivatelja s kol'cevymi vstavkami, avtoreferat / V.A. Stupin // BGAU, - 2021. - 19 s.

3 Petrova, S. S. K voprosu opredelenija kachestva smesi u barabannogo smesitelja / S. S. Petrova, S. A. Kshnikatkin, N. V. Dimitriev // Izvestija Samarskoj GSHA, – 2012. – №3. – S. 67-72.

4. Pershin, V.F. Jenergeticheskij metod opisanija dvizhenija sypuchego materiala v poperechnom sechenii gladkogo vrashhajushhegosja cilindra / V.F. Pershin // Teoreticheskie osnovy himicheskoy tehnologii, – 1988. – T. 22, № 2. – S. 255 – 260.

5. Selivanov, Ju. T. Raschet i proektirovanie cirkuljacionnyh smesitelej sypuchih materialov bez vnutrennih peremeshivajushhih ustrojstv / Ju. T. Selivanov, V.F. Pershin // Mashinostroenie-1, - 2004. – 120 s.

6 Konjuhov, A.L. Rukovodstvo k ispol'zovaniju programmogo kompleksa ImageJ dlja obrabotki izobrazhenij / A.L. Konjuhov // TUSUR, - 2012. – 105 s.

7 Morgun, A.V. Ispol'zovanie paketa programmogo kompleksa «ImageJ / FIJI» dlja obrabotki izobrazhenij / A. V. Morgun, E. D. Hilazheva, E. B. Bojцова // FGBOU VO KrasGMU, - 2018. – 72 с.

8 Bankhead, P. Analyzing fluorescence microscopy images with ImageJ. – Belfast: Queen's University, - 2014. – 195 s.

9. Kosareva, A. A. Ispol'zovanie plaginov paketa ImageJ dlja obrabotki KT-snimkov / A. A. Kosareva // Jelektronnye sistemy i tehnologii, 55-ja jubilejnaja konferencija aspirantov, magistrantov i studentov / BGUIR, - 2019. – 326 s.

10. Trofimov, A.V. Issledovanie dvizhenija sypuchih materialov vo vrashhajushhihsja barabanah bez vnutrennih ustrojstv / A.V. Trofimov // MIHM, - 1973. – 140s.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Костенко Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, kostenko.mihail2016@yandex.ru

Салапин Илья Михайлович, аспирант, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, 1234-99-99@mail.ru

Чаткин Михаил Николаевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, g Саранск chatkinm@yandex.ru

Author information

Kostenko Mikhail Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, of the Department of Metal Technology and Machine Repair, «Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev»

Salapin Ilya M., PhD student, «Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev»

Chatkin Mikhail N., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mobile Energy Equipment and Agricultural Machinery named after Professor A.I. Leshchankin, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, chatkinm@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 06.11.2025; одобрена после рецензирования 03.12.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 06.11.2025; approved after reviewing 03.12.2025; accepted for publication 15.12.2025



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №4, с.151-161
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №4, pp. 151-161

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.171:004.3:004.932
DOI: 10.36508/RSATU.2025.71.34.019

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КАРТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ПЛОДОВОГО САДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Кутырёв Алексей Игоревич

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

alexeykutyrrev@gmail.com

Аннотация.

Проблема и цель. Традиционные методы оценки урожайности садовых насаждений, основанные на усредненных показателях, не учитывают пространственную неоднородность продуктивности и многофакторность процессов формирования урожая. Существующие системы мониторинга имеют ограниченное применение в промышленном садоводстве из-за отсутствия специализированных алгоритмов, учитывающих специфику многолетних насаждений. Целью исследования является разработка интеллектуальной системы мониторинга продуктивности яблоневого сада, обеспечивающей анализ пространственной неоднородности распределения цветков, завязей и плодов с применением алгоритмов машинного обучения для прогнозирования урожайности.

Методология. Разработана система, которая объединяет данные с разных устройств (наземные роботы, БЛА, датчики почвы и погоды) и анализирует их с помощью искусственного интеллекта (методы машинного обучения). Для прогнозирования урожайности применялись регрессионные модели (линейная регрессия, случайный лес, градиентный бустинг), а для выделения зон однородной продуктивности – методы кластеризации (K-means, DBSCAN). Количественная оценка фенологических параметров (цветки, завязи, плоды) осуществлялась с использованием компьютерного зрения на основе сверточной нейронной сети YOLO. Визуализация результатов выполнялась в виде интерактивных карт поверхностей.

Результаты. Экспериментальные исследования в яблоневом саду сорта Спартан (1200 деревьев) подтвердили высокую эффективность системы. Модель градиентного бустинга показала точность прогнозирования с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,87$ и средней абсолютной процентной ошибкой MAPE = 10,2 %. Кластерный анализ выявил три статистически значимые ($p < 0,001$) зоны продуктивности: низкую ($33,7 \pm 3$ плодов/дерево), среднюю ($38,3 \pm 5$ плодов/дерево) и высокую (43 ± 7 плодов/дерево). Установлена корреляционная зависимость между количеством плодов и завязей ($r = 0,85$).

Заключение. Практическая значимость системы заключается в переходе к прецизионному управлению садом, позволяющему оптимизировать агротехнические мероприятия на основе данных о пространственной неоднородности продуктивности. Разработанная интеллектуальная система обеспечивает комплексный анализ пространственно-временной динамики продуктивности садовых насаждений и формирует основу для адаптивного управления.

Ключевые слова: интеллектуальная система, картирование урожайности, прогнозирование урожайности, машинное обучение, кластерный анализ, компьютерное зрение, промышленное садоводство

Для цитирования: Кутырёв А.И. Разработка интеллектуальной системы картирования и прогнозирования урожайности плодового сада с использованием методов машинного обучения // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №.4, С. 151-161 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.71.34.019>

Original article

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR MAPPING AND FORECASTING ORCHARD YIELDS USING MACHINE LEARNING METHODS

Alexey I. Kutyrrev

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

alexeykutyrrev@gmail.com

© Кутырёв А.И., 2025 г.

**Abstract.**

Problem and purpose. Traditional methods for assessing orchard yield, based on averaged metrics, fail to account for spatial heterogeneity in productivity and the multifactorial nature of crop formation processes. Existing monitoring systems have limited application in industrial horticulture due to the lack of specialized algorithms that consider the specifics of perennial crops. The research aims to develop an intelligent monitoring system for apple orchard productivity, enabling the analysis of spatial heterogeneity in the distribution of blossoms, fruitlets, and fruits using machine learning algorithms for yield forecasting.

Methodology. A system has been developed that combines data from various devices (ground robots, UAVs, soil and weather sensors) and analyzes it using artificial intelligence (machine learning methods). Regression models (linear regression, random forest, gradient boosting) were used to forecast yield, while clustering methods (K-means, DBSCAN) were used to identify zones of uniform productivity. Quantitative assessment of phenological parameters (blossoms, fruitlets, fruits) was performed using computer vision based on the YOLO convolutional neural network. The results were visualized as interactive surface maps.

Results. Experimental studies in an apple orchard of the Spartan variety (1200 trees) confirmed the high efficiency of the system. The gradient boosting model showed prediction accuracy with a coefficient of determination $R^2 = 0,87$ and a mean absolute percentage error $MAPE = 10,2\%$. Cluster analysis revealed three statistically significant ($p < 0,001$) productivity zones: low ($33,7 \pm 3$ fruits/tree), medium ($38,3 \pm 5$ fruits/tree) and high (43 ± 7 fruits/tree). A correlation between the number of fruits and ovaries ($r = 0,85$) was established.

Conclusion. The practical significance of the system lies in the transition to precision orchard management, allowing the optimization of agrotechnical measures based on data on the spatial heterogeneity of productivity. The developed intelligent system ensures a comprehensive analysis of the spatiotemporal dynamics of the productivity of garden plantations and forms the basis for adaptive management.

Key words: intelligent system, yield mapping, yield forecasting, machine learning, cluster analysis, computer vision, industrial horticulture

For citation: Kutyrev A.I. Development of an intelligent system for mapping and forecasting orchard yields using machine learning methods // Herald of Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.4, P. 151-161 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.71.34.019>

Введение

Традиционная методика оценки и прогноза урожайности садовых насаждений агрономами, основанная на усредненных значениях, экстраполируемых на весь сад, не обеспечивает достоверных данных для принятия обоснованных управленческих решений [1,2]. Величина урожайности является неоднородной для каждого элементарного участка сада и зависит от комплекса факторов, включая наличие в почве питательных веществ, содержание влаги, погодные условия, а также качество и своевременность проведения технологических операций [3,4].

Существующие системы мониторинга и картирования урожайности, такие как YieldTrakk компании Topcon, GreenStar от John Deere, Agroscom от CLAAS, AFS от Case IH, а также системы от Trimble и Raven, показывают высокую эффективность при работе с полевыми культурами, однако их применение в промышленном садоводстве ограничено [5,6]. Основные сложности связаны с необходимостью учета особенностей роста и развития плодовых деревьев, а также многофакторностью процессов формирования урожая [7]. Перечисленные системы не позволяют количественно оценить ключевые параметры развития плодовых деревьев, такие как плотность цветения, коэффициент завязываемости и динамика формирования завязей и плодов, что обусловлено отсутствием специализированных методов и алгоритмов, учитывающих специфику многолетних насаждений.

Современные исследования показывают перспективность использования технологий дистанционного зондирования и компьютерного зрения

для мониторинга садовых насаждений [8-11]. Применяются сверточные нейронные сети (CNN), включая YOLO (You Only Look Once), Mask R-CNN, SSD (Single Shot MultiBox Detector) и U-Net, которые позволяют с высокой точностью распознавать, классифицировать и сегментировать биологические объекты в реальном времени [15-17]. Большинство разработок сосредоточено на решении отдельных задач, таких как распознавание цветков или подсчет плодов, без обеспечения комплексного анализа всего цикла развития сада и установления корреляционных зависимостей между фенологическими фазами [12-14]. Существующие методы прогнозирования урожайности в садоводстве на основе компьютерного зрения имеют существенные ограничения, поскольку основываются на упрощенных статистических моделях [18]. Такие модели не учитывают пространственную неоднородность внутри сада, многолетние циклы развития деревьев и комплексное влияние почвенных и климатических факторов, что приводит к усредненным прогнозам с низкой точностью и не позволяет выявлять локальные проблемные зоны.

В связи с этим в статье предлагается разработка интеллектуальной системы, объединяющей сбор многомерных данных с помощью роботизированных платформ или БЛА с использованием алгоритмов машинного обучения. В системе реализованы методы регрессии (линейная регрессия, случайный лес, градиентный бустинг) для прогнозирования урожайности на основе исторических данных и текущего состояния, а также методы кластеризации (K-means, DBSCAN) для выделения зон с различной продуктивностью. Такой комплексный ме-



тод позволяет не только прогнозировать урожай, но и выявлять проблемные участки промышленного сада для принятия своевременных агротехнических решений.

Цель исследования – разработка интеллектуальной системы мониторинга продуктивности яблоневого сада, обеспечивающей анализ пространственной неоднородности распределения цветков, завязей и плодов с применением алгоритмов машинного обучения для прогнозирования урожайности.

Материалы и методы исследования

Для разработки интеллектуальной системы картирования и прогнозирования урожайности плодового сада использован язык программирования Python с применением следующих библиотек: PyQt6 для создания графического пользовательского интерфейса, NumPy для численных вычислений и работы с многомерными массивами; Matplotlib для построения 2D и 3D визуализаций; SQLite3 для организации хранения данных. Для компьютерного зрения применялись библиотеки OpenCV и архитектура сверточных нейронных сетей YOLOv12. Машинное обучение реализовано с использованием библиотеки Scikit-learn, включающей алгоритмы регрессии, классификации, кластеризации и снижения размерности данных. Статистический анализ и обработка сигналов выполнялись с применением библиотеки SciPy. Работа с табличными данными, их обработка и анализ организована с помощью библиотеки Pandas.

На рисунке 1 представлена блок-схема интеллектуальной системы картирования и прогнозирования урожайности плодового сада.

Система поддерживает два режима работы с данными: использование существующих записей в базе данных (БД) и сбор новых параметров с помощью роботизированных платформ и беспилотных летательных аппаратов (БЛА). В первом случае данные загружаются из локальной реляционной базы SQLite. Во втором случае осуществляется мониторинг сада, наземный робот с системой RTK (Real-Time Kinematic) позиционирования (обеспечивающей точность до 1-2 см) последовательно сканирует ряды с высоким пространственным разрешением, или БЛА выполняет зональную аэрофотосъемку для охвата больших участков.

После сбора или загрузки данные проходят этап предобработки признаков, пропущенные значения заменяются на медианные, а все числовые признаки масштабируются до нулевого среднего и единичной дисперсии. Затем данные поступают в модуль машинного обучения, где выполняется прогнозирование урожайности с применением регрессионных моделей линейной регрессии, случайного леса и градиентного бустинга. Проводится кластерный анализ с использованием алгоритмов K-means и DBSCAN для выделения зон однородной продуктивности (низкой, средней и высокой урожайности), дополненный методом главных компонент (PCA) для визуализации многомерных паттернов.



Рис. 1 – Блок-схема интеллектуальной системы картирования и прогнозирования урожайности яблоневого сада

Fig. 1 – Block diagram of an intelligent mapping and yield forecasting system for an apple orchard

Результаты прогнозирования и кластеризации сохраняются в базе данных SQLite, обеспечивая целостность, историю изменений и возможность последующего анализа. Далее система выполняет визуализацию в виде интерактивных 2D-карт (с изолиниями, цветовыми градиентами и траекторией движения робота) и 3D-поверхностей распределения урожайности, а также анимации процесса сканирования. Поддерживается экспорт и импорт данных в стандартные форматы (Excel, PDF, JSON). При обнаружении значительной ошибки прогноза (например, по метрикам MSE, MAPE или R^2) система инициирует уточнение модели, процесс, направленный на повышение точности прогнозов за счёт следующих действий. Анализ ошибок прогноза включает выявление участков, где модель показывает наибольшее отклонение от реальных значений, и организацию более детального сбора данных в этих зонах. Обновление обучающей выборки осуществляется путём включения новых фактических данных после сбора урожая для дообучения модели с использованием методов инкрементального обучения. Корректировка гиперпараметров обеспечивается автоматической настройкой параметров моделей, например глуби-

ны деревьев в случайном лесе или скорости обучения в градиентном бустинге, на основе текущего качества прогноза. Результаты кластерного анализа могут использоваться для корректировки траектории движения робота или маршрута облета БЛА, обеспечивая более детальный мониторинг участков сада.

Система использует многомерные данные из различных источников, включая пространственные, временные, агрономические и метеорологи-

ческие параметры. Фенологические показатели, собираемые с помощью роботизированных платформ и БЛА, включают в себя: количество цветков F_{ii}^n (шт/дерево), завязей F_{ij}^{ov} (шт/дерево), плодов F_{ij}^p (шт/дерево). Сбор данных осуществлялся с использованием RGB-камер высокого разрешения (экшн-камера DJI Action 5 Pro) с последующей обработкой изображений моделями сверточных нейронных сетей для количественной оценки [13,18] (рис. 2).



Рис. 2 – Примеры распознавания цветков, завязей и плодов
Fig. 2 – Examples of flower, ovary, and fruit recognition

Почвенные характеристики, измеряемые с помощью почвенных сенсоров и лабораторного анализа проб, включают в себя: значение кислотности pH_{ij} , содержание азота N_{ij} (мг/кг), фосфора P_{ij} (мг/кг), калия K_{ij} (мг/кг), органического вещества OM_{ij} (%). Данные могут быть введены в систему вручную через специализированные табличные формы интерфейса пользователя или автоматически импортированы из файлов стандартных форматов (например, Excel, CSV) после лабораторных исследований. Метеорологические данные, получаемые от метеостанции, включают в себя: температура воздуха T_t ($^{\circ}C$), относительная влажность H_t (%), сумма осадков P_t^{rain} (мм), интенсивность солнечной радиации SR_t (Вт/м²), скорость ветра WS_t (м/с). Данные регистрируются с временным интервалом 1 час и автоматически передаются в базу данных системы через API метеостанции, что обеспечивает их доступность для последующего анализа и построения прогнозных моделей. Пространственные координаты и параметры деревьев: номер ряда i , порядковый номер дерева в ряду j , возраст дерева A_{ij} (лет), сортовая принадлежность, фитосанитарное состояние. Пространственная привязка осуществляется с помощью RTK станции.

Для построения прогнозных моделей урожайности применяются современные ансамблевые методы машинного обучения. Признаковое пространство модели включает все собранные параметры.

Вектор признаков для каждого дерева с координатами i, j на момент времени t описывается уравнением (1):

$$\begin{aligned} X_{ij}(t) = [i, j, A_{ij}, pH_{ij}, N_{ij}, P_{ij}, K_{ij}, OM_{ij}, \\ T_{ij}(t), H_{ij}(t), P_{ij}^{rain}(t), SR_{ij}(t), WS_{ij}(t), \\ F_{ij}^{fl}(t), F_{ij}^{ov}(t)] \end{aligned} \quad (1)$$

где i, j – координаты дерева (ряд, номер), A_{ij} – возраст дерева, лет, pH_{ij} – кислотность почвы, N_{ij}, P_{ij}, K_{ij} – содержание азота, фосфора и калия в почве, мг/кг, OM_{ij} – содержание органического вещества в почве, %, $T_{ij}(t), H_{ij}(t), P_{ij}^{rain}(t), SR_{ij}(t), WS_{ij}(t)$ – метеорологические переменные (температура, влажность, осадки, солнечная радиация, скорость ветра) в момент времени $F_{ij}^n(t), F_{ij}^{ov}(t)$ – фенологические показатели (количество цветков и завязей) в момент времени t .

Вектор $X_{ij}(t)$ представляет собой полный набор признаков для дерева с координатами (i, j) на дату t и служит входом для моделей машинного обучения. Прогнозирование осуществляется для трех целевых переменных: ожидаемая урожайность плодов \hat{Y}_{ij}^{fr} , плотность цветения \hat{Y}_{ij}^{Π} и количество завязей \hat{Y}_{ij}^{ov} .

Перед обучением моделей машинного обучения выполняется предварительная обработка признаков: пропущенные значения заменяются



медианой с помощью класса SimpleImputer (инструмент из библиотеки scikit-learn для заполнения пропущенных данных), а все числовые признаки масштабируются до нулевого среднего и единичной дисперсии с использованием StandardScaler (стандартный нормализатор из той же библиотеки, приводящий данные к стандартному нормальному распределению). Разбиение выборки на обучающую (80 %) и тестовую (20 %) осуществляется с фиксированным random_state=0 для воспроизводимости результатов.

Для прогнозирования урожайности на основе линейной зависимости между признаками и целевой переменной использована линейная регрессия, рассчитываемая по формуле 2:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k X_k \quad (2)$$

где \hat{Y} – прогнозируемое значение целевой переменной (урожайности), шт/дереву, β_0 – свободный член модели, шт/дереву, β_k – коэффициент регрессии для k-го признака, X_k – значение k-го признака в признаковом пространстве, р – общее количество признаков в модели.

Для повышения точности прогнозирования за счет ансамблевого подхода применен метод случайного леса, выходное значение которого вычисляется по формуле 3:

$$\hat{Y} = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T_b(X, \theta_b) \quad (3)$$

где \hat{Y} – итоговый прогноз ансамбля, шт/дереву, B – количество деревьев в ансамбле, T_b – прогноз b-го дерева решений, шт/дереву, X – входной вектор признаков, θ_b – параметры b-го дерева.

Для последовательного улучшения прогнозной модели с минимизацией ошибки на каждой итерации использован градиентный бустинг, описываемый формулой 4:

$$F_m(X) = F_{m-1}(X) + v \cdot \gamma_m h_m(X) \quad (4)$$

где $F_m(X)$ – ансамблевая модель на m-ой итерации, шт/дереву, $F_{m-1}(X)$ – ансамблевая модель на предыдущей (m-1)-ой итерации, шт/дереву, v – скорость обучения (learning rate), коэффициент, предотвращающий переобучение, γ_m – оптимальный шаг (вес) для m-го базового алгоритма, шт/дереву, $h_m(X)$ – базовый алгоритм, шт/дереву.

Для идентификации зон однородной продуктивности применен алгоритм K-means, целевая функция которого находится по формуле 5:

$$J(k) = \sum_{i=1}^k \sum_{x_i \in C_i} \|x_i - \mu_i\|^2 \quad (5)$$

где $J(k)$ – целевая функция для k кластеров, C_j – множество точек, принадлежащих j-му кластеру, x_i – вектор признаков i-ой точки данных, μ_j – центроид (среднее) j-го кластера, $\|x_i - \mu_j\|^2$ – квадрат Евклидова расстояния между точкой и центроидом,

Для алгоритма K-means число кластеров задавалось равным 3, инициализация методом k-means++, число запусков 10. Для DBSCAN использовались параметры: eps = 0,5, min_samples = 5. Перед кластеризацией данные нормализовались с помощью StandardScaler.

Для кластеризации на основе плотности распределения данных использован алгоритм DBSCAN (формула 6):

$$\text{Core}(x_i) = \{x_j \in X: \|x_i - x_j\| \leq \varepsilon\} \quad (6)$$

где $\text{Core}(x_i)$ – множество точек, являющихся «ядром» для точки x_i , x_i – текущая рассматриваемая точка данных, X – вся совокупность точек данных, ε – радиус окрестности, $\|x_i - x_j\|$ – расстояние между точками x_i и x_j .

Для визуализации результатов кластерного анализа применен метод главных компонент, преобразование признаков в котором выполняется по формуле 7:

$$PC_k = \sum_{i=1}^p w_{ki} X_i, \quad k = \quad (7)$$

где PC_k – k-я главная компонента, w_{ki} – весовой коэффициент i-го исходного признака в k-ой главной компоненте, X – i-й исходный признак, p – исходная размерность данных (количество признаков), r – результирующая размерность (количество отобранных главных компонент, $r < p$).

Точность прогнозных моделей оценивается с использованием перекрестной проверки с разделением на обучающую (80 %) и тестовую (20 %) выборки. Используются следующие метрики качества.

Средняя квадратическая ошибка (MSE) определяется по формуле 8:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

где y_i – наблюдаемое (истинное) значение для i-го наблюдения, шт/дереву, \hat{y}_i – прогнозируемое значение для i – го наблюдения, шт/дереву, n – общее количество наблюдений в тестовой выборке.

Коэффициент детерминации (R^2) (формула 9):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

где \bar{y} – среднее арифметическое всех наблюдаемых значений y_i ,

Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) (формула 10):

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (10)$$

Пространственное распределение параметров визуализируется с помощью 2D карт на основе матриц данных с применением адаптивных цветовых карт и изолиний. Для 3D визуализации используются поверхности в декартовой системе координат с возможностью интерактивного вращения и масштабирования. Сглаживание данных осуществляется адаптивным фильтром Гаусса (формула 11):

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (11)$$

где $G(x, y)$ – значение ядра фильтра в точке с координатами (x, y), x, y – координаты относительно центра ядра, σ_x – стандартное отклонение Гауссова распределения по оси X, σ_y – стандартное отклонение Гауссова распределения по оси Y.

Для повышения наглядности карт урожайности и почвенных параметров применяется адаптивное



сглаживание с помощью двумерного фильтра Гаусса (`scipy.ndimage.gaussian_filter` с $\sigma = 1$). Это позволяет уменьшить визуальный «шум» и выявить закономерности пространственного распределения параметров.

Для оценки статистической значимости различий между выделенными кластерами применяется *t*-критерий Стьюдента для независимых выборок. Проверяется гипотеза о равенстве средних значений урожайности (количество плодов) в парах кластеров. Уровень значимости принят равным $\alpha = 0,05$.

Все данные системы (характеристики сада, почвенные и метеорологические измерения, результаты сканирования и прогнозов) хранятся в локальной реляционной базе данных SQLite, что обеспечивает целостность данных, ведение истории изменений, а также экспорт и импорт данных в стандартные форматы, такие как Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе экспериментальных исследований интеллектуальная система была протестирована на участке в яблоневом саду сорта Спартан, включающем 40 рядов по 30 деревьев в каждом.

В течение вегетационного периода осуществлялся мониторинг с использованием наземного робота, оснащённого RGB-камерами высокого разрешения. Сбор фенологических данных (цветки, завязи, плоды), почвенных характеристик и метеорологических параметров проводился с пространственным разрешением до отдельного дерева и временным интервалом до 15 дней в зависимости от фазы развития.

На основе собранных данных была сформирована обучающая (80 % от общего объёма данных) и тестовая (20 %) выборки. Модель градиентного бустинга показала наилучшую точность прогнозирования количества плодов на дерево: коэффициент детерминации $R^2 = 0,87$, средняя абсолютная процентная ошибка $MAPE = 10,2 \%$, среднеквадратичная ошибка $MSE = 145,3$. Это подтверждает способность модели учитывать нелинейные взаимосвязи между многочисленными признаками и конечной продуктивностью.

В ходе работы системы был реализован полный цикл от сбора данных и их обработки до визуализации и принятия решений. На рисунке 3 представлено главное окно графического интерфейса системы.

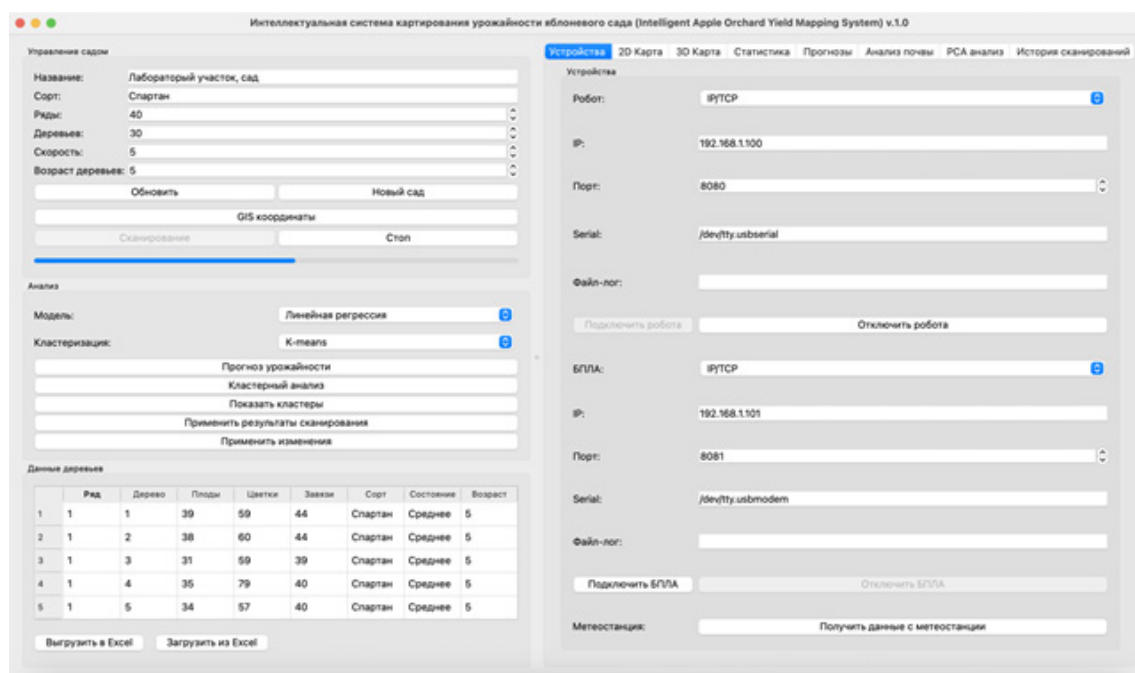


Рис. 3 – Главное окно программного интерфейса системы с отображением параметров сада, таблицы данных и панели управления

Fig. 3 – The main window of the systems software interface displays the garden settings, data table, and control panel

Левая панель содержит управление параметрами сада, табличные данные, инструменты сканирования и анализа с алгоритмами машинного обучения. Правая панель организована в виде вкладок, включая вкладку "Устройства" с настройками подключения робота и БЛА. Для каждого устройства предусмотрены настройки способа подключения (IP/TCP, последовательный порт, файл-лог).

На рисунке 4 приведена 2D-карта пространственного распределения количества плодов по всему участку.

Цветовая шкала отражает градацию урожай-

ности от низкой (зеленый) до высокой (красный). Красной линией обозначена траектория движения наземного робота, а маркер указывает его текущее положение. Карта наглядно показывает пространственную неоднородность внутри отдельных рядов, что подтверждает неэффективность традиционных усреднённых подходов к оценке урожая.

Для выявления зон с различной продуктивностью применён алгоритм K-means с числом кластеров $k = 3$. Результат кластеризации представлен на рисунке 5.

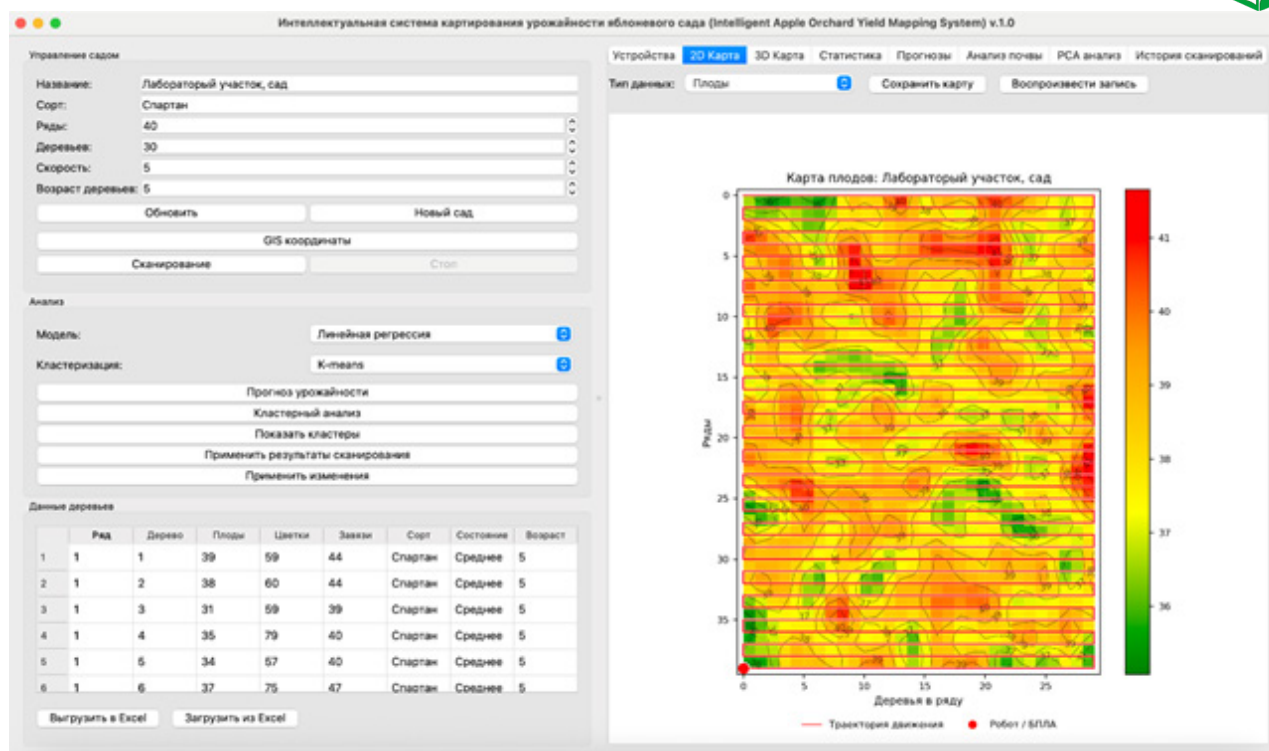


Рис. 4 – 2D-карта пространственного распределения количества плодов с траекторией движения робота (красная линия) и маркером текущего положения
 Fig. 4 – 2D map of the spatial distribution of the number of fruits with the robot's trajectory (red line) and the current position marker

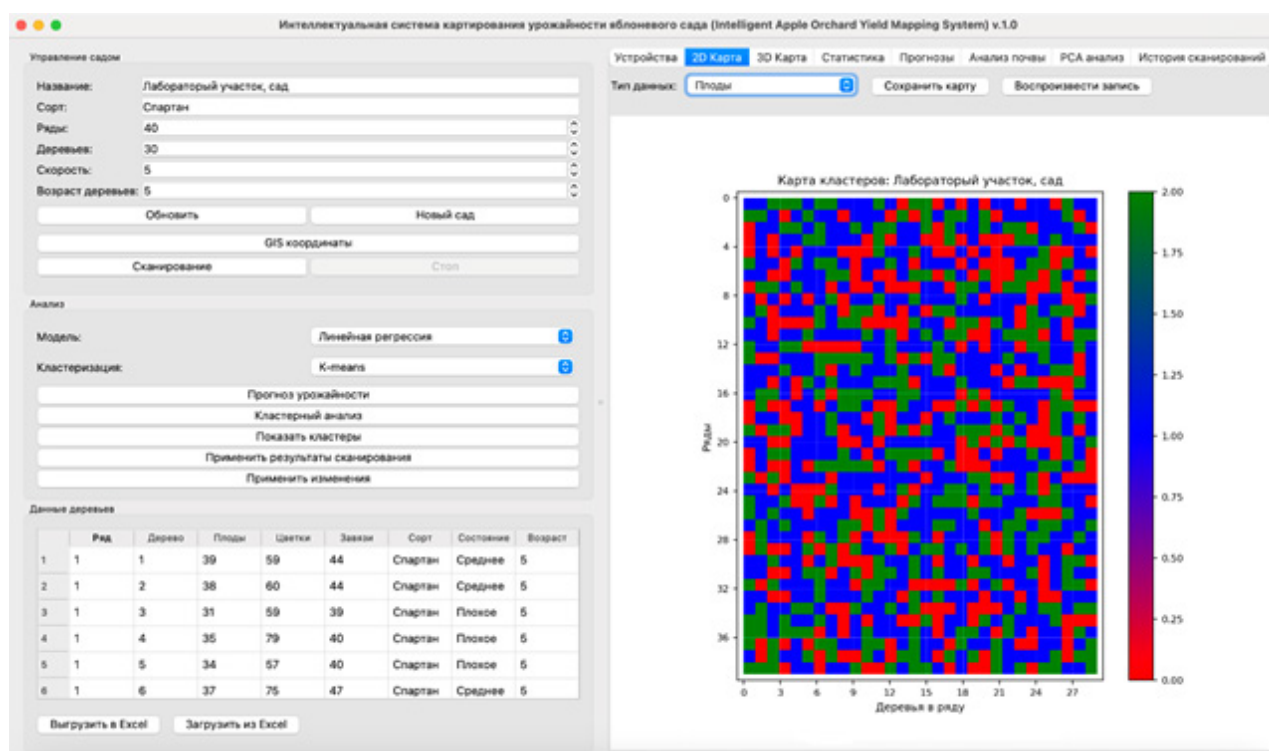


Рис. 5 – Результат кластерного анализа методом K-means: выделение зон с различной продуктивностью (кластер 0 – низкая, кластер 1 – средняя, кластер 2 – высокая урожайность)
 Fig. 5 – The result of K-means cluster analysis: identification of zones with different productivity (cluster 0 – low, cluster 1 – medium, cluster 2 – high yield)



Кластер 0 соответствует зонам с низкой урожайностью ($33,7 \pm 3$ плодов/дерево);

Кластер 1 со средней продуктивностью ($38,3 \pm 5$ плодов/дерево);

Кластер 2 с высокой (43 ± 7 плодов/дерево).

Установлено, что различия между кластерами статистически значимы ($p < 0,001$ по t-критерию Стьюдента). Такое разделение позволяет планировать агротехнические мероприятия, например,

регулирование полива только в проблемных зонах сада.

Для интерпретации многомерной структуры данных применён метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA). На рисунке 6 представлена проекция исходных признаков (плоды, цветки, завязи, pH, N, P, K, OM и метеопараметры) на первые две главные компоненты, объясняющие 76 % общей дисперсии.

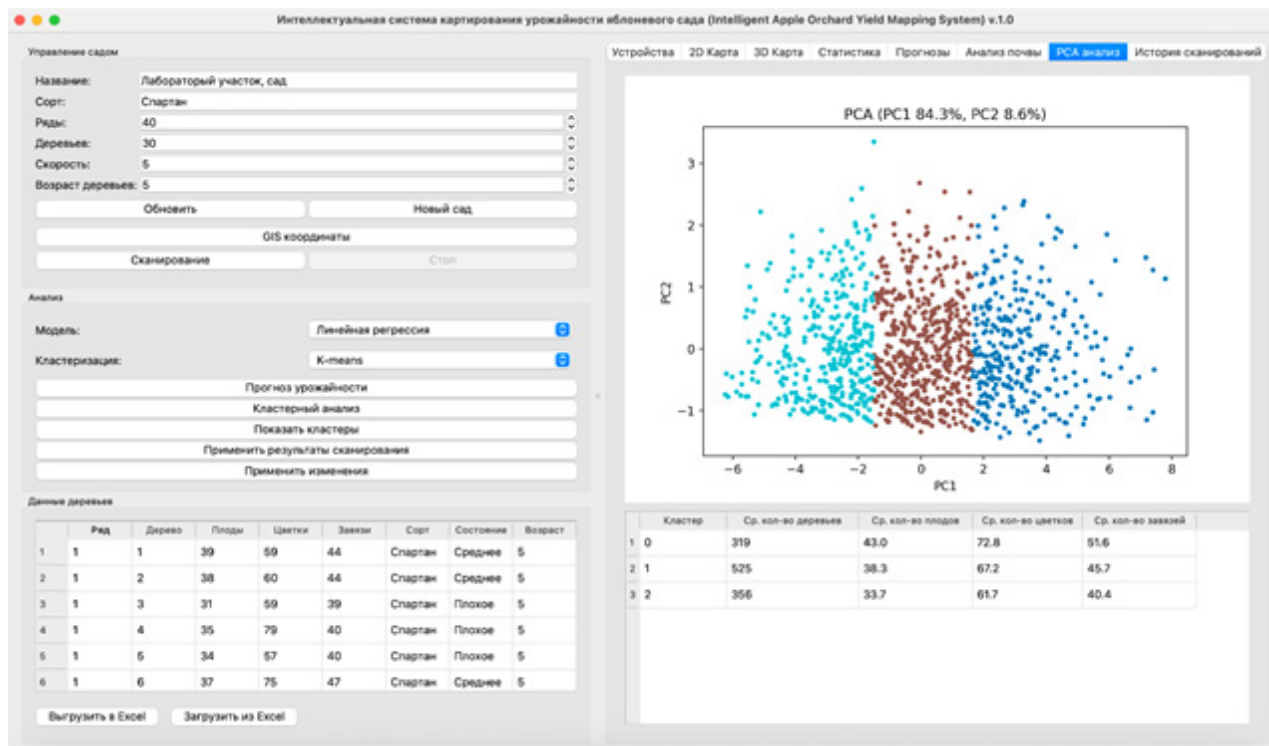


Рис. 6 – Визуализация результатов PCA анализа
Fig. 6 – Visualization of the PCA analysis results

Цветовая маркировка соответствует кластерам, выделенным методом K-means. Разделение кластеров в пространстве PCA свидетельствует о том, что различия в продуктивности обусловлены устойчивыми комбинациями агрономических и экологических факторов.

Проведенный анализ данных, собранных интеллектуальной системой в яблоневом саду сорта Спартак, позволил получить детальную характеристику состояния насаждений и факторов среды (рис.7).

Агрохимический анализ почвы показал, что средние показатели по саду находятся в оптимальных для деревьев яблони диапазонах: кислотность (pH) 6,21, содержание азота (N) 51,4 мг/кг, фосфора (P) 37,2 мг/кг, калия (K) 132,7 мг/кг, органического вещества (OM) 2,61%. Однако диапазоны измеренных параметров показывают значительную пространственную неоднородность: pH варьировал от 5,88 до 6,53, азот от 29,7 до 77,0 мг/кг, фосфор от 20,8 до 56,5 мг/кг, калий от 93,9 до 177,6 мг/кг, а содержание органического вещества от 1,89 % до 3,48 %. Это подтверждает тезис о необходимости зонального подхода к управлению садом.

Статистический анализ садовых насаждений выявил общее количество плодов 45804 штук, что соответствует средней урожайности 38,17 плодов на дерево. При этом разброс продуктивности между деревьями составил от 30,0 до 50,0 плодов. В ходе мониторинга фенологических фаз было установлено наличие 80461 цветка и 54831 завязи, что в среднем составило 67,05 и 45,69 на дерево соответственно. Анализ распределения урожайности выявил выраженную вариабельность между рядами. Наиболее продуктивным оказался ряд 5 со средним показателем 40,1 плода на дерево, тогда как в наименее продуктивном ряду 3 средний показатель составил 36,3 плода на дерево. Такая динамика подтверждает наличие устойчивых зон с различной продуктивностью. Это подчеркивает комплексный характер влияния факторов, включая индивидуальные особенности деревьев.

Прогнозные модели, реализованные в системе, показали высокую сходимость с фактическими данными. Расхождение между прогнозируемым (41250) и фактическим (45804) количеством плодов составило ≈ 10 %, что коррелирует с величиной ошибки MAPE, полученной на тестовой выборке. Выявлена положительная корреляция меж-



ду количеством плодов и завязей ($r = 0,85$). В то же время, корреляция между плодами и цветками составила $r = 0,51$, что свидетельствует о значительном влиянии фак-торов, воздействующих на

дерево в период между цветением и формированием завязи. На основе прогноза была выполнена оценка массы урожая, которая составила 8702,8 кг (при средней массе плода 190 г).

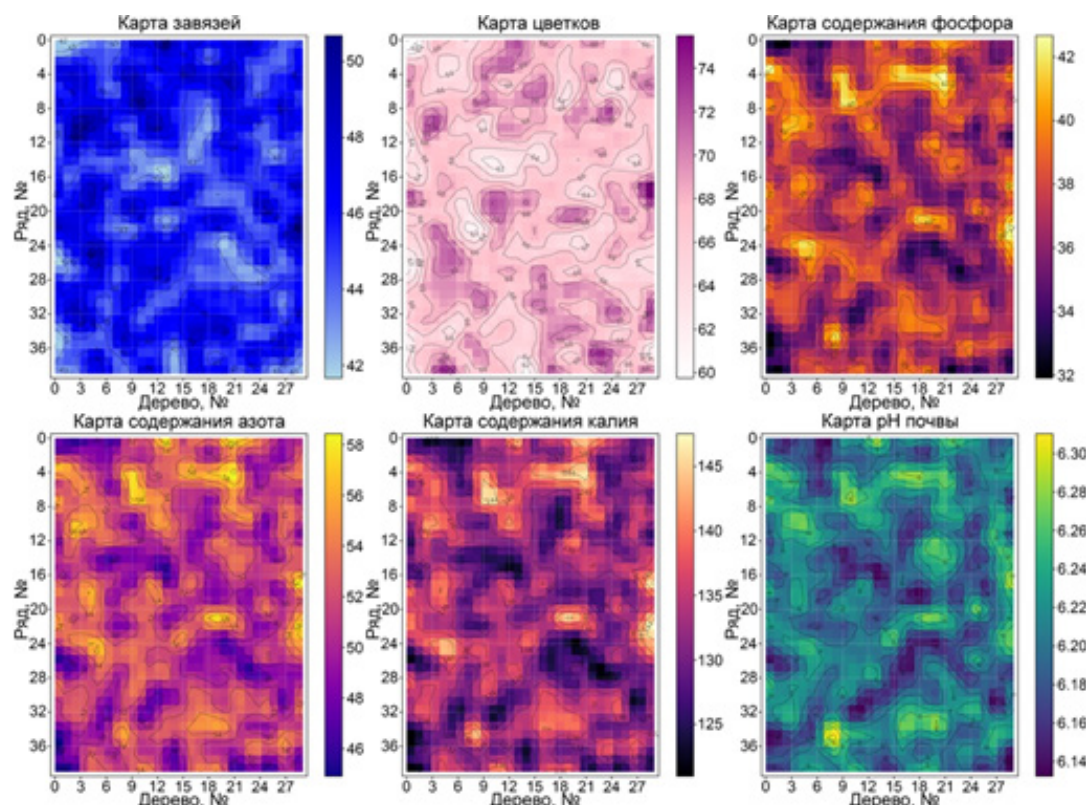


Рис. 7 – Результаты картирования, анализа пространственной неоднородности распределения цветков, завязей и почвенных характеристик яблоневого сада

Fig. 7 – Results of mapping and analysis of the spatial heterogeneity of the distribution of flowers, ovaries, and soil characteristics of an apple orchard

Закключение

В результате проведенных исследований разработана интеллектуальная система картирования и прогнозирования урожайности плодового сада, основанная на интеграции данных мониторинга с роботизированных платформ и БЛА с алгоритмами машинного обучения, что обеспечивает комплексный анализ пространственно-временной динамики продуктивности садовых насаждений.

Экспериментальные исследования на яблоневом саду сорта Спартан (1200 деревьев) подтвердили высокую эффективность предложенного метода. Модель градиентного бустинга показала высокую точность прогнозирования количества плодов с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,87$ и средней абсолютной процентной ошибкой MAPE = 10,2 %. Кластерный анализ методом K-means позволил выделить три статистически значимых ($p < 0,001$) зоны продуктивности: низкую (33,7 плодов/дерево), среднюю (38,3 плодов/дерево) и высокую (43 плодов/дерево), что подтверждает неоднородность урожайности. Установлена корреляционная зависимость между количеством цветков, плодов и завязей, что подтверждает значимость факторов, действующих в период между цветением и формированием завязи.

Практическая значимость системы заключается в переходе от традиционного усредненного подхода к прецизионному управлению садом, позволяющему оптимизировать агротехнические мероприятия на основе данных о продуктивности. Дальнейшие исследования будут направлены на использование дополнительных источников данных (IoT-сенсоры) и разработку адаптивных алгоритмов, учитывающих многолетнюю динамику развития плодовых насаждений.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10071 «Развитие методов дистанционного мониторинга на основе оптической визуализации биологических объектов в садоводстве» <https://rscf.ru/project/24-76-10071/>

Список источников

1. Wang, Y., Zhang, Q., Yu, F., Zhang, N., Zhang, X., Li Y., Wang, M., Zhang, J. Progress in Research on Deep Learning-Based Crop Yield Prediction // *Agronomy*. – 2024. – No. 14(10). – 2264. – DOI 10.3390/agronomy14102264
2. Zeng, R., Li, J., Li, Z., Zhang, Q. Crossformer-Based Model for Predicting and Interpreting Crop Yield Variations Under Diverse Climatic and Agricultural Conditions // *Agriculture*. – 2025. – No. 15(9). – 958.



– DOI 10.3390/agriculture15090958

3. Opara, I.K., Opara, U.L., Okolie, J.A., Fawole, O.A. Machine Learning Application in Horticulture and Prospects for Predicting Fresh Produce Losses and Waste: A Review // *Plants*. – 2024. – No. 13(9). – 1200. – DOI 10.3390/plants13091200

4. Bharti, Das P., Banerjee, R., Ahmad, T., Devi, S., Verma, G. Artificial Neural Network Based Apple Yield Prediction Using Morphological Characters // *Horticulturae*. – 2023. – No. 9(4). – 436. – DOI 10.3390/horticulturae9040436

5. Canata, T.F., Wei, M.C.F., Maldaner, L.F., Molin, J.P. Sugarcane Yield Mapping Using High-Resolution Imagery Data and Machine Learning Technique // *Remote Sensing*. – 2021. – No. 13(2). – 232. – DOI 10.3390/rs13020232

6. Хорт, Д.О., Кутырев, А.И., Смирнов, И.Г., Воронков, И.В. Разработка системы автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2021. – Т.15. – № 2. – С. 61-68. – DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-61-68. – EDN AQNSNT.

7. Соловьев, А.В., Трунов, Ю.В., Куличихин, И.В. Продуктивность сортов яблони в интенсивных садах Липецкой области // *Достижения науки и техники АПК*. – 2022. – Т.36. – № 12. – С. 5-9. – DOI 10.53859/02352451_2022_36_12_5. – EDN KXCRYA.

8. Yang, X., Chen, J., Lu, X., Liu, H., Liu, Y., Bai, X., Qian, L., Zhang, Z. Advances in UAV Remote Sensing for Monitoring Crop Water and Nutrient Status: Modeling Methods, Influencing Factors, and Challenges // *Plants*. – 2025. – No. 14(16). – 2544. – DOI 10.3390/plants14162544

9. Jemaa, H., Bouachir, W., Leblon, B., LaRocque, A., Haddadi, A., Bouguila, N. UAV-Based Computer Vision System for Orchard Apple Tree Detection and Health Assessment // *Remote Sensing*. – 2023. – No. 15(14). – 3558. – DOI 10.3390/rs15143558

10. Yuan, W. AriAplBud: An Aerial Multi-Growth Stage Apple Flower Bud Dataset for Agricultural Object Detection Benchmarking // *Data*. – 2024. – No.

9(2). – 36. <https://doi.org/10.3390/data9020036>

11. Hobart, M., Pflanz, M., Tsoulas, N., Weltzien, C., Kopetzky M., Schirrmann, M. Fruit Detection and Yield Mass Estimation from a UAV Based RGB Dense Cloud for an Apple Orchard // *Drones*. – 2025. – No. 9(1). – 60. – DOI 10.3390/drones9010060

12. Khort, D.O., Kutyrev, A., Smirnov, I., Andriyanov, N., Filippov, R., Chilikin, A., Astashev, M.E., Molkova, E.A., Sarimov, R.M., Matveeva, T.A., Gudkov, S. Enhancing sustainable automated fruit sorting: hyperspectral analysis and machine learning algorithms // *Sustainability*. – 2024. – Vol.16. – No. 22. – 10084. – DOI 10.3390/su162210084

13. Кутырёв, А.И., Смирнов, И.Г., Андриянов, Н.А. Сравнительный анализ моделей нейронных сетей для распознавания плодов яблони на кроне дерева // *Садоводство и виноградарство*. – 2023. – № 5. – С. 56-63. – DOI 10.31676/0235-2591-2023-5-56-63. – EDN JZXRSO.

14. Sun, X., Zheng, Y., Wu, D., Sui, Y. Detection of Orchard Apples Using Improved YOLOv5s-GBR Model // *Agronomy*. – 2024. – No. 14(4). – 682. – DOI 10.3390/agronomy14040682

15. Yang, L., Zhang, T., Zhou, S., Guo, J. AAB-YOLO: An Improved YOLOv11 Network for Apple Detection in Natural Environments // *Agriculture*. – 2025. – No. 15(8). – 836. – DOI 10.3390/agriculture15080836

16. Tang, Y., Bai, H., Sun, L., Wang, Y., Hou, J., Huo, Y., Min, R. Multi-Band-Image Based Detection of Apple Surface Defect Using Machine Vision and Deep Learning // *Horticulturae*. – 2022. – No. 8(7). – 666. – DOI 10.3390/horticulturae8070666

17. Yildirim, Ş., Ulu, B. Deep Learning Based Apples Counting for Yield Forecast Using Proposed Flying Robotic System // *Sensors*. – 2023. – No. 23(13). – 6171. – DOI 10.3390/s23136171

18. Кутырёв, А.И., Филиппов, Р.А. Применение свёрточной нейронной сети для учёта опадения плодов яблони // *Таврический вестник аграрной науки*. – 2024. – № 1(37). – С. 87-102. – DOI 10.5281/zenodo.10926196. – EDN EYQDTI.

References

1. Wang, Y., Zhang, Q., Yu, F., Zhang, N., Zhang, X., Li Y., Wang, M., Zhang, J. Progress in Research on Deep Learning-Based Crop Yield Prediction // *Agronomy*. – 2024. – No. 14(10). – 2264. – DOI 10.3390/agronomy14102264

2. Zeng, R., Li, J., Li, Z., Zhang, Q. Crossformer-Based Model for Predicting and Interpreting Crop Yield Variations Under Diverse Climatic and Agricultural Conditions // *Agriculture*. – 2025. – No. 15(9). – 958. – DOI 10.3390/agriculture15090958

3. Opara, I.K., Opara, U.L., Okolie, J.A., Fawole, O.A. Machine Learning Application in Horticulture and Prospects for Predicting Fresh Produce Losses and Waste: A Review // *Plants*. – 2024. – No. 13(9). – 1200. – DOI 10.3390/plants13091200

4. Bharti, Das P., Banerjee, R., Ahmad, T., Devi, S., Verma, G. Artificial Neural Network Based Apple Yield Prediction Using Morphological Characters // *Horticulturae*. – 2023. – No. 9(4). – 436. – DOI 10.3390/horticulturae9040436

5. Canata, T.F., Wei, M.C.F., Maldaner, L.F., Molin, J.P. Sugarcane Yield Mapping Using High-Resolution Imagery Data and Machine Learning Technique // *Remote Sensing*. – 2021. – No. 13(2). – 232. – DOI 10.3390/rs13020232

6. Khort, D.O., Kutyrev, A.I., Smirnov, I.G., Voronkov, I.V. Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo upravleniya agrotehnologiyami v sadovodstve // *Sel'skhozozhajstvennyye mashiny i tehnologii*. – 2021. – Vol.15. – № 2. – С. 61-68. – DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-61-68. – EDN AQNSNT.



7. Soloviev, A. V., Trunov, Yu. V., Kulichikhin, I. V. Produktivnost' sortov jabloni v intensivnykh sadakh Lipeckoj oblasti // *Dostizhenija nauki i tehniki APK*. – 2022. – Т.36. – № 12. – С. 5-9. – DOI 10.53859/02352451_2022_36_12_5. – EDN KXCRYA.
8. Yang, X., Chen, J., Lu, X., Liu, H., Liu, Y., Bai, X., Qian, L., Zhang, Z. Advances in UAV Remote Sensing for Monitoring Crop Water and Nutrient Status: Modeling Methods, Influencing Factors, and Challenges // *Plants*. – 2025. – No. 14(16). – 2544. – DOI 10.3390/plants14162544
9. Jemaa, H., Bouachir, W., Leblon, B., LaRocque, A., Haddadi, A., Bouguila, N. UAV-Based Computer Vision System for Orchard Apple Tree Detection and Health Assessment // *Remote Sensing*. – 2023. – No. 15(14). – 3558. – DOI 10.3390/rs15143558
10. Yuan, W. AriAplBud: An Aerial Multi-Growth Stage Apple Flower Bud Dataset for Agricultural Object Detection Benchmarking // *Data*. – 2024. – No. 9(2). – 36. <https://doi.org/10.3390/data9020036>
11. Hobart, M., Pflanz, M., Tsoulas, N., Weltzien, C., Kopetzky M., Schirrmann, M. Fruit Detection and Yield Mass Estimation from a UAV Based RGB Dense Cloud for an Apple Orchard // *Drones*. – 2025. – No. 9(1). – 60. – DOI 10.3390/drones9010060
12. Khort, D.O., Kuttyrev, A., Smirnov, I., Andriyanov, N., Filippov, R., Chilikin, A., Astashev, M.E., Molkova, E.A., Sarimov, R.M., Matveeva, T.A., Gudkov, S. Enhancing sustainable automated fruit sorting: hyperspectral analysis and machine learning algorithms // *Sustainability*. – 2024. Vol.16. – No. 22. – 10084. – DOI 10.3390/su162210084
13. Kuttyrev, A.I., Smirnov, I.G., Andrianov, N.A. Sravnitel'nyj analiz modelej nejronnyh setej dlja raspoznavanija plodov jabloni na krone dereva // *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. – 2023. – № 5. – С. 56-63. – DOI 10.31676/0235-2591-2023-5-56-63. – EDN JZXRSO.
14. Sun, X., Zheng, Y., Wu, D., Sui, Y. Detection of Orchard Apples Using Improved YOLOv5s-GBR Model // *Agronomy*. – 2024. – No. 14(4). – 682. – DOI 10.3390/agronomy14040682
15. Yang, L., Zhang, T., Zhou, S., Guo, J. AAB-YOLO: An Improved YOLOv11 Network for Apple Detection in Natural Environments // *Agriculture*. – 2025. – No. 15(8). – 836. – DOI 10.3390/agriculture15080836
16. Tang, Y., Bai, H., Sun, L., Wang, Y., Hou, J., Huo, Y., Min, R. Multi-Band-Image Based Detection of Apple Surface Defect Using Machine Vision and Deep Learning // *Horticulturae*. – 2022. – No. 8(7). – 666. – DOI 10.3390/horticulturae8070666
17. Yildirim, Ş., Ulu, B. Deep Learning Based Apples Counting for Yield Forecast Using Proposed Flying Robotic System // *Sensors*. – 2023. – No. 23(13). – 6171. – DOI 10.3390/s23136171
18. Kuttyrev, A.I., Filippov, R.A. Primenenie svjortochnoj nejronnoj seti dlja uchjota opadenija plodov jabloni // *Tavriceskij vestnik agrarnoj nauki*. – 2024. – № 1(37). – С. 87-102. – DOI 10.5281/zenodo.10926196. – EDN EYQDTI.

Информация об авторе

Кутырёв Алексей Игоревич, канд. техн. наук, зав. лабораторией интеллектуальных цифровых систем мониторинга, диагностики и управления процессами в сельскохозяйственном производстве, вед. научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, alexeykuttyrev@gmail.com

Author Information

Kuttyrev Alexey I., Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Intelligent Digital Systems for Monitoring, Diagnostics and Process Management in Agricultural Production, Leading Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, alexeykuttyrev@gmail.com

Статья поступила в редакцию 14.10.2025; одобрена после рецензирования 11.10.2025; принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 14.10.2025; approved after reviewing 21.10.2025; accepted for publication 15.12.2025





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 621.43.068.4
DOI: 10.36508/RSATU.2025.67.53.020

**РАСЧЕТ НОРМ ВЫБРОСА КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ РАБОТ**

**Дмитрий Олегович Олейник¹, Илья Юрьевич Богданчиков²✉, Алексей Николаевич Бачурин³,
Михаил Анатольевич Есенин⁴, Анастасия Петровна Кутейникова⁵**

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

¹ oleynik_d_o@mail.ru

² mc62@mail.ru

³ bachurin62@mail.ru

⁴ m_esenin@mail.ru

⁵ nascut@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. До 96 % всех технологических процессов в АПК выполняются техникой, источником энергии которой является дизельный двигатель. Более 95 % машинно-тракторного парка Рязанской области представлено отечественными машинами вторичного рынка, не находящимися на гарантии и эксплуатируемыми более 30 лет. Изношенная техника характеризуется низким коэффициентом технической готовности, повышенным расходом топлива и наличием в отработанных газах большого числа токсичных и канцерогенных компонентов. Целью исследования является разработка рекомендаций по рациональной эксплуатации отечественной сельскохозяйственной техники, приобретённой на вторичном рынке и не охваченной гарантийным обслуживанием, с учётом действующих нормативных и экологических требований

Методология. Основана на комплексе эмпирических методов (наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент, материальное моделирование), аналитико-синтетического подхода, а также методов математической статистики, включая корреляционно-регрессионный и дисперсионный анализ. Для оптимизации решений применялся симплексный метод.

Результаты. Разработана адаптивная модель для количественного расчета основных опасных компонентов отработавших газов дизельных двигателей, выделяемых в окружающую среду при выполнении различных сельскохозяйственных механизированных работ и программа для ЭВМ для её реализации.

Заключение. Разработанная программа предназначена для количественного расчета основных опасных компонентов отработавших газов дизельных двигателей, выделяемых в окружающую среду при выполнении различных сельскохозяйственных механизированных работ. Программа применима для предприятий агропромышленного комплекса, экологизирующих подходы к выполнению сельскохозяйственных механизированных работ.

Ключевые слова: отработавшие газы, токсичность, дымность, дизельный двигатель, нейтрализатор, оксид углерода, окислы азота, углеводороды, сажа, цифровизованная система, трактор

Для цитирования: Олейник Д.О., Богданчиков И.Ю., Бачурин А.Н., Есенин М.А., Кутейникова А.П. Расчет норм выброса компонентов отработавших газов при выполнении сельскохозяйственных механизированных работ // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т17, №4, С. 162-169 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.67.53.020>

Original article

**CALCULATION OF EMISSIONS OF EXHAUST GAS COMPONENTS DURING
FARM MECHANIZED WORKS**

**Dmitry O. Oleynik¹, Ilya Yu. Bogdanchikov² ✉, Alexey N. Bachurin³, Mikhail A. Yesenin⁴,
Anastasia P. Kuteynikova⁵**

^{1,2,3,4,5} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

© Олейник Д.О., Богданчиков И.Ю., Бачурин А.Н., Есенин М.А., Кутейникова А.П., 2025 г.

¹ oleynik_d_o@mail.ru² mc62@mail.ru³ bachurin62@mail.ru⁴ m_esenin@mail.ru⁵ nascut@yandex.ru

Abstract

Problem and goal. Up to 96% of all technological processes in the agro-industrial complex will be carried out by equipment, the energy source of which is a diesel engine. More than 95% of the machine and tractor fleet of the Ryazan region is represented by domestic secondary market machines that are not under warranty and have been in operation for more than 30 years. Worn-out equipment is characterized by a low coefficient of technical readiness, increased fuel consumption and the presence of a large number of toxic and carcinogenic components in exhaust gases. The purpose of the study is to develop recommendations for the rational operation of domestic agricultural machinery purchased on the secondary market and not covered by warranty service, taking into account the current regulatory and environmental requirements.

Methodology based on a set of empirical methods (observation, comparison, measurement, experiment, material modeling), analytical-synthetic approach, as well as methods of mathematical statistics, including correlation-regression and variance analysis. A simplex method was used to optimize solutions.

Results. An adaptive model has been developed for the quantitative calculation of the main hazardous components of diesel engine exhaust gases released into the environment during various agricultural mechanized work and a computer program for its implementation.

Conclusion. The developed program is designed to quantify the main hazardous components of diesel engine exhaust gases released into the environment during various agricultural mechanized work. The program is applicable to enterprises of the agro-industrial complex that greenize approaches to performing agricultural mechanized work.

Key words: exhaust gases, toxicity, smokiness, diesel engine, neutralizer, carbon monoxide, nitrogen oxides, hydrocarbons, soot, digitized system, tractor.

For citation: Oleinik D.O., Bogdanchikov I.Yu., Bachurin A.N., Yesenin M.A., Kuteynikova A.P. Calculation of emissions of exhaust gas components during farm mechanized works// Herald of the Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev. 2025, T.17, No.4, P.162-169 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.67.53.020>

Введение

Аграрный сектор в значительной мере опирается на использование самоходной сельскохозяйственной техники, основу энергетических установок которой составляют дизельные двигатели. Одной из ключевых экологических проблем, сопряжённых с их эксплуатацией, являются выбросы отработавших газов. Эти выбросы формируют аэрозольные системы, в которых подавляющая часть (99,00-99,98 %) приходится на нейтральные продукты сгорания, тогда как оставшиеся 0,02-1,00 % – это высокотоксичные и канцерогенные компоненты. Их распространение в окружающей среде усугубляется наличием в выхлопе дисперсных частиц, выступающих в роли векторов: они адсорбируют вредные вещества и способствуют их переносу на значительные расстояния.

Современный машинно-тракторный парк сельхозпредприятий Рязанской области характеризуется выраженной неоднородностью: в нём одновременно эксплуатируются как современные, так и сильно изношенные машины отечественного и импортного производства. При этом более 95 % парка составляют отечественные агрегаты, приобретённые на вторичном рынке и не охваченные системой гарантийного обслуживания. Средний возраст такой техники превышает 30 лет, что свидетельствует о глубоком моральном и физическом износе. Ситуация дополнительно осложняется крайне низкими темпами обновления основных фондов: при рекомендуемом уровне замены в 13 % в год, реальный показатель не превышает

3,5 %. Такой разрыв делает стратегию полного замещения парка экономически нереализуемой.

В связи с этим центральной задачей представляется не замена, а разработка научно-обоснованного комплекса мер, обеспечивающих эффективную и безопасную эксплуатацию имеющегося устаревшего парка в условиях действия современных регламентов. Ключевым аспектом при этом является приведение эксплуатационных характеристик этой техники в соответствие с актуальными экологическими нормативами (Stage, Tier, Euro), которые не учитывались на этапе ее проектирования. Исторически вопросы безопасности при создании этих машин ограничивались защитой оператора в закрытых сельскохозяйственных помещениях (теплицах, складах) и были направлены на поддержание допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны, что неадекватно современным требованиям к экологичности выбросов в атмосферу. В настоящее время жестко нормируются выбросы вредных веществ вне зависимости от условий эксплуатации. Работа выполнена по плану НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2015-2020 гг. в рамках разработки подраздела 1.1.3 «Обеспечение работоспособности в эксплуатации транспортно-технологических средств путем совершенствования их конструкции, технологий и средств технического воздействия» и 1.3.4 «Разработка технологий и средств в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации для нужд агропромышленного комплекса и перерабатывающей промышленности».



Рязанской области» основных направлений научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы.

Методика

В первую очередь выбирается марка трактора, который планируется включить в состав машинно-тракторного агрегата, согласно [5], к примеру, для операции «Вспашка пласта многолетних трав» возможен выбор из семи тракторов: К-701, К-700, Т-150К, Т-4А, ДТ-75М, МТЗ-80, ЮМЗ-6АЛ, для каждого трактора имеется возможность выбора одной или нескольких сельскохозяйственных машин [5]:

для трактора К-701 предлагаются плуги ПТК-9-35 и ПГП-7-40;

для трактора К-700 предлагается плуг ПН-8-35;

для трактора Т-150К предлагаются плуги ПЛП-6-35 ПЛН-5-35 ПН-4-40 ПЛН-4-35;

для трактора Т-4А предлагаются плуги ПП-6-35 ПН-4-35;

для трактора ДТ-75М предлагаются плуги ПП-6-35 ПН-4-35;

для трактора МТЗ-80 предлагается плуг ПЛН-3-35;

для трактора ЮМЗ-6АЛ предлагается плуг ПН-3-35Б;

для каждой сельскохозяйственной машины предлагается несколько вариантов глубины обработки, в данном случае для вспашки: 18-20 см, 20-22 см, 23-25 см, 25-27 см, 27-30 см [5].

Выбрав таким образом марку трактора, марку сельскохозяйственной машины, глубину обработки, мы можем определить сменную норму выработки (Га) и расход топлива (л/Га); для этого необходимо выбрать одну из семи групп, распределяющих данные показатели в зависимости от размера полей и агрофона (рис. 1).

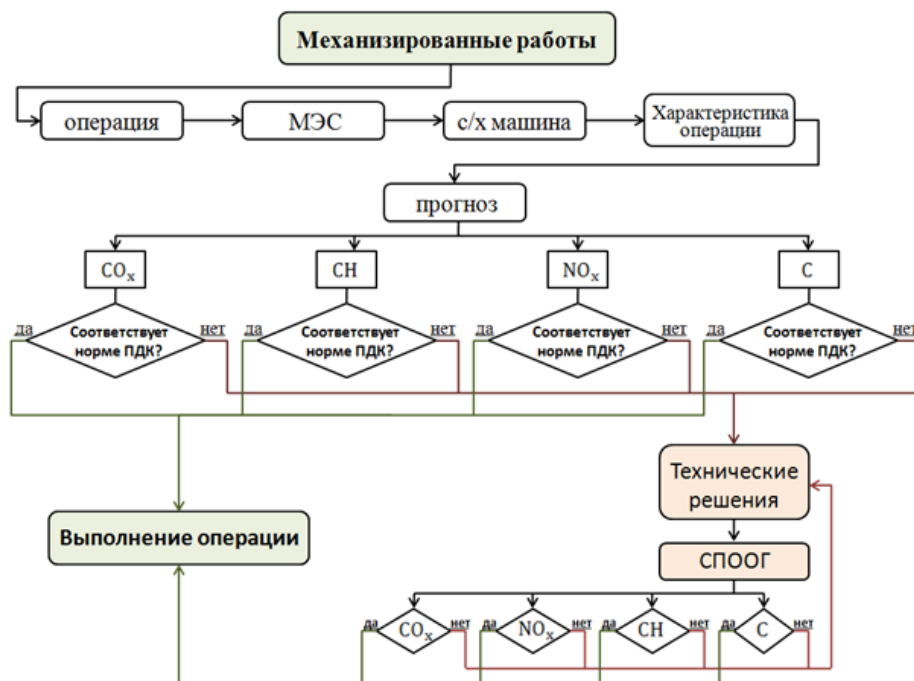


Рис. 1 – Алгоритм обеспечения экологической безопасности при эксплуатации мобильных энергетических средств и самоходных сельскохозяйственных машин с дизельными двигателями
Fig. 1 – An algorithm for ensuring environmental safety in the operation of mobile energy facilities and self-propelled agricultural machinery with diesel engines

Представим в виде множеств: все сельскохозяйственные операции, представленные в данном документе [5], представим в виде множества А, из которого мы выбираем интересующую нас сельскохозяйственную операцию A_n . Набор тракторов, который может быть использован для данной операции, представим в виде множества В, в этом случае можем записать $A_n \cap B$. Далее, выбираем трактор из множества В и обозначаем его B_w , для данного трактора имеется множество сельскохозяйственных машин С, в этом случае можем записать $B_w \cap C$. Далее переходим к выбору сельскохозяйственной машины, обозначив её, для удобства, C_q , для данной машины имеется множество характеристик операции D, в этом случае можем записать $C_q \cap D$.

Рассматривая всю совокупность взаимосвязанных множеств, можем записать, следующее выражение

$$\begin{aligned} A_n \cap B &= \{k \in A_n \wedge k \in B\} \rightarrow B_w \cap C = \\ &= \{m \in B_w \wedge m \in C\} \rightarrow C_q \cap D = \\ &= \{d \in C_q \wedge d \in D\} \end{aligned}$$

Конечной величиной, которую необходимо определить, является $V_{ог}$ – объем выделения отработавших газов от дизельного двигателя, при выполнении определенной сельскохозяйственной операции, определенным трактором, агрегированным с выбранной сельскохозяйственной машиной, с определенными настройками для выполнения операции, m^3 , т.е. из множества характеристик сельскохозяйственной операции нам необходимо выбрать одно значение, обозначим его D_r , которому будет соответствовать единственное значение расхода топлива $G_{р.т.} \left(\frac{л}{Га} \right)$.



Для того чтобы определить объем отработавших газов, образовавшихся за рабочую смену, нам необходимо знать сменную норму выработки, данную величину можно получить, используя современные системы спутникового контроля и мониторинга. Зная ширину захвата сельскохозяйственной машины и пройденный за смену путь, мы можем определить, какое количество гектар было обработано и умножить эту величину на расход топлива $G_{р.т.} \left(\frac{\text{л}}{\text{Га}} \right)$.

Пройденный путь выясняется на основании определения местоположения и параметров движения машинно-тракторного агрегата.

Таким образом, объем выделенных отработавших газов от дизельного двигателя будет определяться из выражения [1,3]:

$$G_{р.т.} \left(\frac{\text{л}}{\text{Га}} \right) \times S_{gps} \left(\frac{\text{Га}}{\text{см}} \right) \times \alpha L_0 + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \quad (1)$$

где $S_{gps} \left(\frac{\text{Га}}{\text{см}} \right)$ – сменная производительность, определяемая на основании показаний, полученных от системы спутникового контроля и мониторинга.

На основании изложенного выше представим адаптивную модель расчёта объёмного содержания токсичных компонентов в отработавших газах при выполнении сельскохозяйственных механизированных работ в следующем виде:

$$\begin{aligned} A_n \cap B = \{k \in A_n \wedge k \in B\} \rightarrow B_w \cap C = \{m \in B_w \wedge m \in C\} \rightarrow C_q \cap D = \\ = \{d \in C_q \wedge d \in D\} \rightarrow D_r \cap G_{р.т.} \left(\frac{\text{л}}{\text{Га}} \right) = \{e \in D_r \wedge e \in G_{р.т.} \left(\frac{\text{л}}{\text{Га}} \right)\} = \\ G_{р.т.} \left(\frac{\text{л}}{\text{Га}} \right) \times S_{gps} \left(\frac{\text{Га}}{\text{см}} \right) \times \alpha L_0 + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} = V_{ог}(\text{М}^3) \times \omega_{со\%} + \\ + V_{ог}(\text{М}^3) \times \omega_{hc\%} + V_{ог}(\text{М}^3) \times \omega_{c\%} + \\ + \sum_{i=1}^n V_{ост\ n, o \dots}(\text{М}^3) \times \omega_{ост\ n, o \dots\%} \end{aligned} \quad (2)$$

где: А – множество с/х операций;
В – множество тракторов;
С – множество с/х машин, относящихся к определенному трактору;
D – множество характеристик операций,
 $V_{ог}$ – объем выделенных отработавших га-

зов от дизельного двигателя, при выполнении определенной сельскохозяйственной операции, определенным трактором, агрегированным с выбранной сельскохозяйственной машиной, с определенными настройками для выполнения операции, М^3 ;

к – идентификатор множества тракторов для с/х операции;

m – идентификатор множества с/х машин для трактора;

d – идентификатор множества характеристик операции для с/х машины;

e – идентификатор множества характеристик для значения расхода топлива;

n – количество нетоксичных компонентов ОГ;

$\omega_{(со\%)}$ и др. – процентное содержание токсичного компонента в составе ОГ.

Зная объёмы выбросов отдельных токсичных компонентов в отработавших газах и их физико-химические свойства, в первую очередь плотность, можно определить общую массу загрязняющих веществ, выделяемых в атмосферу. На этой основе вторую часть адаптивной модели расчёта массового содержания токсичных компонентов при выполнении сельскохозяйственных механизированных работ представляют следующим образом:

$$\begin{aligned} V_{со\ ог}(\text{М}^3) \times 1,9768 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right) + V_{nox}(\text{М}^3) \times \\ \times 1,3402 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right) + V_{hc}(\text{М}^3) \times 0,674 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right) + V_c(\text{М}^3) \\ \times 0,001 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right) + \sum V_{ост\ n, o \dots} \times \rho_{ост\ n, o \dots} \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right) = \\ = m_{ог}(\text{КГ}) + m_{со\ ог} + m_{nox} + m_{hc} + m_c + \\ + m_{ост\ n, o \dots} = m_{ог}(\text{КГ}) + \\ + \frac{m_{со\ ог} \times 1000}{T_{см\ gps}} + \frac{m_{nox} \times 1000}{T_{см\ gps}} + \frac{m_{hc} \times 1000}{T_{см\ gps}} + \frac{m_c \times 1000}{T_{см\ gps}} + \\ + \frac{m_{ост\ n, o \dots} \times 1000}{T_{см\ gps}} = m_{ог\ уд} \left(\frac{\text{Г}}{\text{ч}} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

где $V_{ост\ n, o \dots}$, $\rho_{ост\ n, o \dots}$, $m_{ост\ n, o \dots}$ – объем, плотность и масса (соответственно) нетоксичных компонентов ОГ (азот, кислород, пары воды и пр.).

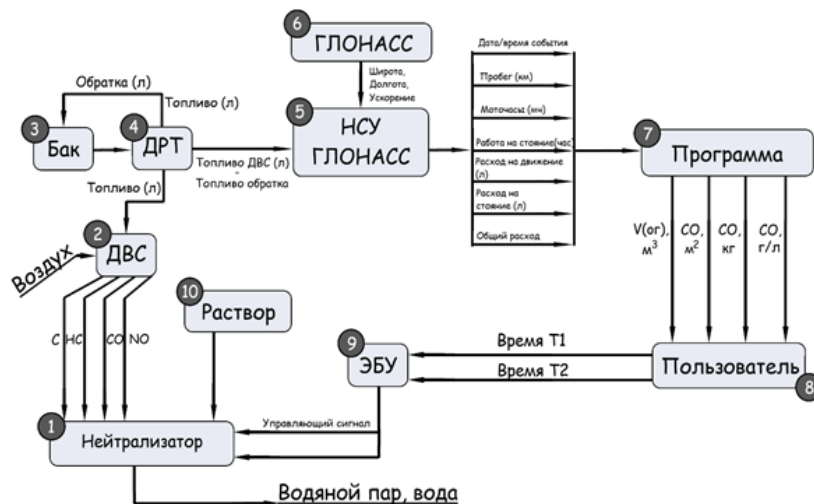


Рис. 2 – Информационная модель цифровой платформы для оперативного анализа и прогнозирования эмиссии токсичных компонентов отработавших газов при проведении механизированных агроопераций
Fig. 2 - An information model of a digital platform for operational analysis and forecasting of the emission of toxic components of exhaust gases during mechanized agricultural operations

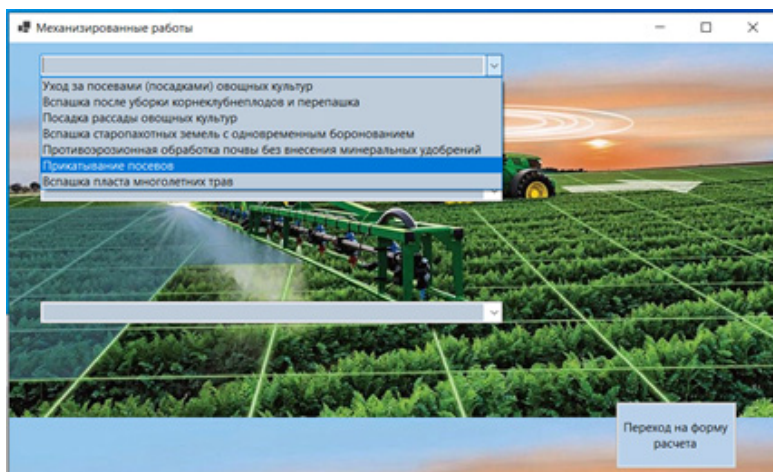


Результаты и обсуждение

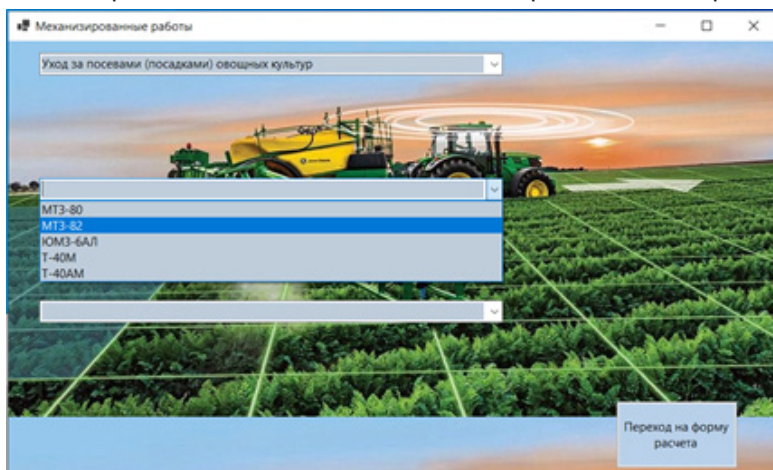
На основе разработанного алгоритма обеспечения экологической безопасности при эксплуатации мобильных энергетических средств и самоходной сельскохозяйственной техники с дизельными двигателями, а также адаптивной модели расчёта объёма и состава токсичных компонентов отработавших газов, возникающих при выполнении механизированных агроопераций, и информационной модели цифровой системы оценки и прогнозирования выбросов в реальном времени была

создана программа для ЭВМ. Программа предназначена для количественного определения основных вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу дизельными двигателями сельхозтехники в ходе различных агротехнологических работ. На данную разработку получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2025611462 [4].

В данной программе последовательно выбирается сельскохозяйственная операция (рис. 3).



Выбирается МЭС для выполнения выбранной с/х операции.



Сельскохозяйственная машина, предназначенная для выполнения выбранной операции, агрегируемая с выбранным на предыдущем этапе МЭС.

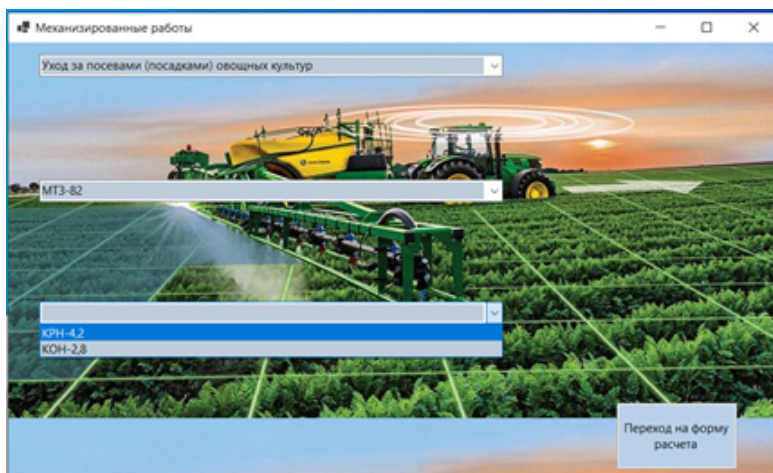


Рис. 3 – Интерфейсная форма выбора выполняемой сельскохозяйственной операции

Fig. 3 – The interface form for selecting the agricultural operation to be performed

Рис. 4 – Интерфейсная форма выбора МЭС, выполняющего выбранную с/х операцию

Fig. 4 – The interface form for selecting the MES performing the above-selected agricultural operation

Рис. 5 – Интерфейсная форма выбора с/х машины, агрегируемой с выбранным ранее МЭС

Fig. 5 – The interface form for selecting an agricultural machine aggregated with the previously selected MES



Задаются характеристики операции.



Рис. 6 – Интерфейсная форма выбора характеристик с/х операции
Fig. 6 – The interface form for selecting the characteristics of an agricultural operation

После ввода всех необходимых данных программа подсчитывает такие показатели, как норма выработки, удельный расхода топлива в л/га и расход топлива в л/смену, позволяющие произве-

сти расчет объема отработавших газов дизельного ДВС при выполнении выбранной с/х операции с учетом всех параметров и характеристик.

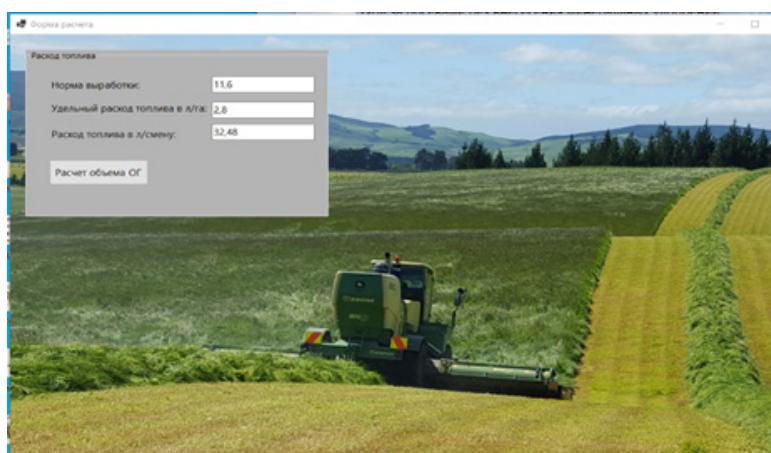


Fig. 7 – Interface form for calculating such indicators as the production rate, specific fuel consumption in liters/ha and fuel consumption per liter/shift, which make it possible to calculate the volume of exhaust gases from a diesel engine when performing a selected agricultural operation, taking into account all parameters and characteristics

Рис. 7 – Интерфейсная форма расчета таких показателей, как норма выработки, удельный расхода топлива в л/га и расход топлива в л/смену, позволяющих произвести расчет объема отработавших газов дизельного ДВС при выполнении выбранной с/х операции с учетом всех параметров и характеристик

Далее программа рассчитывает общий объем выделяемых ОГ (рис 8) и количественный расчет токсичных компонентов в объеме ОГ, образуемых при выполнении с/х операции.

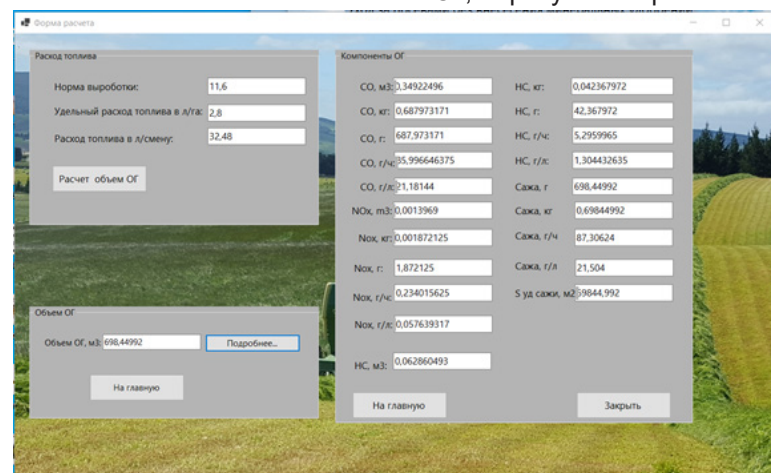


Рис. 8 – Итоговая интерфейсная форма количественного расчета токсичных компонентов в объеме ОГ, образуемых при выполнении с/х операции.

Fig. 8 – Final interface form for the quantitative calculation of toxic components in the exhaust gas volume formed during the agricultural operation.



Заключение

Разработанная программа предназначена для количественного расчета основных опасных компонентов отработавших газов дизельных двигателей, выделяемых в окружающую среду при выполнении различных сельскохозяйственных механизированных работ. В процессе работы программы последовательно выбираются вид сельскохозяйственной операции, марка трактора, сельскохозяйственная машина, характеристики операции, после чего производится расчет объемных, массовых и удельных значений выделяемых вредных веществ. Программа применима для предприятий агропромышленного комплекса, экологизирующих подходы к выполнению сельскохозяйственных механизированных работ.

Список источников

1. Method and device for reducing the toxicity of diesel engine exhaust gases / N. V. Byshov, A. V. Nelidkin, A. N. Bachurin [et al.] // *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. – 2018. – Vol. 7, No. 4.36. – P. 920-928. – EDN HWVMEG.

2. Кутейникова, А. П. Конструктивно-режимные параметры электронного блока управления устройством для очистки отработавших газов / А. П. Кутейникова, Д. О. Олейник // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2024. – № 198. – С. 366-379. – DOI 10.21515/1990-4665-198-034. – EDN BCWOFJ.

3. Олейник, Д. О. Способ и устройство сниже-

ния токсичности отработавших газов дизельных двигателей : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Олейник Дмитрий Олегович. – Рязань, 2009. – 20 с. – EDN NLFG BX.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025611462 Российская Федерация. Расчет норм выброса компонентов отработавших газов при выполнении сельскохозяйственных механизированных работ : заявл. 06.12.2024 : опубл. 20.01.2025 / А. В. Шемякин, С. Н. Бoryчев, Д. О. Олейник [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – EDN ICSLDU.

5. Типовые нормы выработки и расхода топлива на сельскохозяйственные механизированные работы / М-во сел. хо-ва и продовольствия Рос. Федерации. — 6. изд., доп. и перераб. — Москва : Роснिसагропром, 2000 — 20 см.

6. Шемякин, А. В. Повышение экологической безопасности при эксплуатации тракторов с применением цифровых технологий / А. В. Шемякин, С. Н. Бoryчев, Д. О. Олейник // *Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей*, Москва, 25–26 января 2023 года. – Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2023. – С. 45-49. – EDN KVKTPL.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Method and device for reducing the toxicity of diesel engine exhaust gases / N. V. Byshov, A. V. Nelidkin, A. N. Bachurin [et al.] // *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. – 2018. – Vol. 7, No. 4.36. – P. 920-928. – EDN HWVMEG.

2. Kuteynikova, A. P. Konstruktivno-rezhimnye parametry elektronnoy bloka upravleniya ustroystvom dlya ochistki otrabotavshikh gazov / A. P. Kuteynikova, D. O. Oleynik // *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2024. – № 198. – S. 366-379. – DOI 10.21515/1990-4665-198-034. – EDN BCWOFJ.

3. Oleynik, D. O. Spособ i ustroystvo snizheniya toksichnosti otrabotavshikh gazov dizelnykh dvigateley : spetsialnost 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii selskogo khozyaystva" : avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Oleynik Dmitriy Olegovich. – Ryazan, 2009. – 20 s. – EDN NLFG BX.

4. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2025611462 Rossiyskaya Federatsiya. Raschet norm vybrosa komponentov otrabotavshikh gazov pri vypolnenii selskokhozyaystvennykh mekhanizirovannykh rabot : yayavl. 06.12.2024 : opubl. 20.01.2025 / A. V. Shemyakin, S. N. Borychev, D. O. Oleynik [i dr.] ; yayavitel Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskii universitet imeni P.A. Kostycheva». – EDN ICSLDU.

5. Tipovye normy vyrabotki i raskhoda topliva na selskokhozyaystvennyye mekhanizirovannyye raboty / M-vo sel. kho-va i prodovolstviya Ros. Federatsii. — 6. izd., dop. i pererab. — Moskva : Rosnisaagroprom, 2000 — 20 sm.

6. Shemyakin, A. V. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti pri ekspluatatsii traktorov s primeneniem tsifrovyykh tekhnologiy / A. V. Shemyakin, S. N. Borychev, D. O. Oleynik // *Chteniya akademika V. N. Boltinskogo : Sbornik statey*, Moskva, 25–26 yanvarya 2023 goda. – Moskva: ООО «Sam Poligrafist», 2023. – S. 45-49. – EDN KVKTPL.



Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Олейник Дмитрий Олегович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», oleynik_d_o@mail.ru

Богданчиков Илья Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», mc62@mail.ru

Бачурин Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, декан инженерного факультета, заведующий кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», bachurin62@mail.ru

Есенин Михаил Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», m_esenin@mail.ru

Кутейникова Анастасия Петровна, магистр по направлению подготовки «Агроинженерия», соискатель, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», nascut@yandex.ru

Author Information

Oleynik Dmitry O., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Operation of the Machine and Tractor Park", Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, oleynik_d_o@mail.ru

Bogdanchikov Ilya Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Operation of the Machine and Tractor Park", Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, mc62@mail.ru

Bachurin Alexey N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering, Head of the Department "Operation of the Machine and Tractor Park", Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, bachurin62@mail.ru

Yesenin Mikhail A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Operation of the Machine and Tractor Fleet", Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, m_esenin@mail.ru

Kuteynikova Anastasia P., Master's degree in Agroengineering, candidate, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, nascut@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.10.2025; одобрена после рецензирования 12.11.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 18.10.2025; approved after reviewing 12.11.2025; accepted for publication 15.12.2025





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.347
DOI 10.36508/RSATU.2025.16.72.021

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

Анатолий Иванович Рязанцев¹, Евгений Юрьевич Евсеев² ✉, Георгий Константинович Рембалович³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

¹ ryazantsev.41@mail.ru

² evseev.evgeniy.1995@mail.ru

³ rgk.rgatu@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Мелиорация играет ключевую роль в устойчивом развитии сельского хозяйства, особенно в условиях изменения климата, сопровождающегося засухами и неравномерным распределением осадков. Одним из эффективных методов орошения является дождевание, реализуемое с помощью дождевальных машин, например типа «Кубань-ЛК1». Однако их эксплуатация на участках с разным по уклону рельефом приводит к неоптимальным энергозатратам и снижению надежности привода. Цель исследования – оптимизация работы мотор-редукторного привода самоходной тележки для повышения энергоэффективности и надежности дождевальной машины.

Методология. Проведены энергетические исследования работы мотор-редукторов дождевальной машины в различных условиях: на спокойном рельефе и склонах. Анализировались зависимости потребляемой мощности от ширины профиля колес, глубины колеи и уклона местности. Разработана методика расчета оптимального количества работающих приводов в зависимости от нагрузки. Предложено использование датчика наклона для автоматического отключения одного из мотор-редукторов при движении под уклон.

Результаты. Установлено, что использование одного ведущего колеса на спокойном рельефе снижает энергопотребление на 15–29 % по сравнению с двумя приводами. На склонах с уклоном до $-0,07^\circ$ отключение заднего мотор-редуктора позволяет сократить мощность на 0,39 кВт и избежать перегрузки. Экономический эффект от внедрения системы автоматического управления оценивается в 11,7 тыс. рублей в год для парка из 10 машин при сроке окупаемости 4–5 лет.

Заключение. Применение адаптивной системы управления приводами дождевальной машины «Кубань-ЛК1» позволяет повысить энергоэффективность и надежность ее работы. Оптимальным решением является автоматическое переключение между одно- и двухдвигательным режимами в зависимости от уклона местности. Перспективным направлением развития системы является внедрение частотно-регулируемого привода для дальнейшей оптимизации энергопотребления.

Ключевые слова: мелиорация; дождевание; дождевальная машина «Кубань-ЛК1»; энергоэффективность; мотор-редуктор; самоходная тележка; уклон местности; оптимизация привода; энергопотребление; автоматическое управление.

Для цитирования: Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Рембалович Г.К. Энергосбережение ходовой части электрифицированных дождевальных машин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.170-177 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.16.72.021](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.16.72.021)

Original article

ENERGY SAVING OF THE UNDERCARRIAGE OF ELECTRIFIED SPRINKLERS

Anatoly I. Ryazantsev¹, Evgeny Yu. Evseev² ✉, Georgy K. Rembalovich³

^{1,2,3} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

¹ ryazantsev.41@mail.ru² evseev.evgeniy.1995@mail.ru³ rgk.rgatu@yandex.ru

Abstract.

The problem and the goal. Land reclamation plays a key role in the sustainable development of agriculture, especially in the context of climate change, which is accompanied by droughts and uneven rainfall distribution. One of the effective methods of irrigation is sprinkling, which is implemented using sprinkling machines, such as the Kuban-LK1 type. However, their operation on areas with different slopes leads to suboptimal energy consumption and reduced drive reliability. The purpose of this research is to optimize the operation of the motor-gear drive of a self-propelled trolley to improve the energy efficiency and reliability of the sprinkling machine.

Methodology. Energy studies of the operation of the sprinkler gear motors in various conditions have been carried out: on calm terrain and slopes. The dependences of power consumption on the width of the profile of the wheels, the depth of the track and the slope of the terrain were analyzed. A method has been developed for calculating the optimal number of operating drives depending on the load. It is proposed to use a tilt sensor to automatically turn off one of the gear motors when driving downhill.

Results. It was found that using one drive wheel on a calm terrain reduces energy consumption by 15-29% compared to two drives. On slopes with a slope of up to -0.07° , turning off the rear gear motor reduces power by 0.39 kW and avoids overloading. The economic effect of the introduction of an automatic control system is estimated at 11.7 thousand rubles per year for a fleet of 10 vehicles with a payback period of 4-5 years.

Conclusion. The use of an adaptive control system for the drives of the Kuban-LK1 sprinkler makes it possible to increase energy efficiency and reliability of its operation. The optimal solution is to automatically switch between one- and two-engine modes depending on the terrain slope. A promising area of system development is the introduction of a variable frequency drive to further optimize energy consumption.

Key words: land reclamation; sprinkling; Kuban-LK1 sprinkler; energy efficiency; gear motor; self-propelled trolley; terrain slope; drive optimization; energy consumption; automatic control

For citation: Ryazantsev A. I., Evseev E. Yu., Rembalovich G. K. Energy saving of the undercarriage of electrified sprinklers // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.4, P.170-177 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.16.72.021>

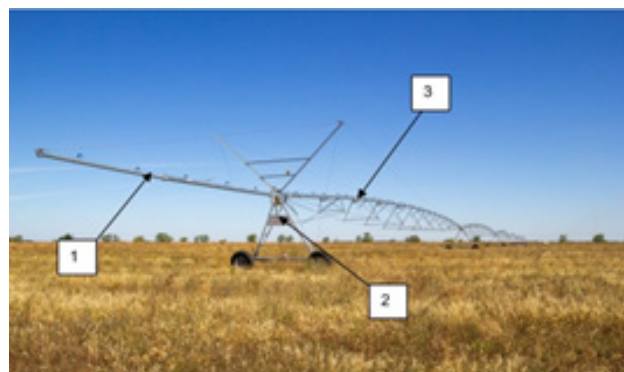
Введение

Мелиорация является одним из ключевых факторов устойчивого развития сельского хозяйства. Ее основная задача заключается в улучшении природных условий земель, что позволяет повысить их продуктивность и обеспечить стабильные урожаи. В условиях изменяющегося климата, когда засухи и неравномерное распределение осадков становятся все более частыми, мелиоративные системы приобретают особую значимость. Они не только компенсируют недостаток влаги, но и предотвращают деградацию почв, способствуя их долгосрочному использованию [13, 14].

Одним из наиболее эффективных методов орошения является дождевание. Этот способ полива имитирует естественные осадки, равномерно увлажняя почву и создавая оптимальные условия для роста растений. В отличие от поверхностного орошения, дождевание позволяет точно дозировать подачу воды, минимизируя ее потери на испарение и инфильтрацию. Кроме того, технология дает возможность совмещать полив с внесением жидких удобрений и средств защиты растений, что повышает эффективность агротехнических мероприятий [1, 3, 4].

Современное сельское хозяйство требует эффективных технических решений, позволяющих оптимизировать процесс орошения. Примером таких разработок является широкозахватная дождевальная машина "Кубань-ЛК1" (рис. 1), которая широко применяется для полива сельскохозяйственных культур методом дождевания. Эта

машина сочетает в себе надежность, высокую производительность и адаптивность к различным условиям эксплуатации, что делает ее востребованной в аграрном секторе [2, 5, 6].



1 – консольная часть; 2 – ходовая тележка;
3 – центральный водопровод

Рис. 1 – Общий вид широкозахватной дождевальной машины кругового действия «Кубань-ЛК1»

1 – cantilever part; 2 – running trolley; 3 – central water supply

Fig. 1 – General view of the Kuban-LK1 wide-range circular sprinkler

Широкозахватные дождевальные машины предназначены для орошения полей с различными культурами, включая зерновые, овощные, кормовые и технические растения. Базовая модификация машины «Кубань-ЛК1» (ДМ-474-65) состоит



из неподвижной опоры, водопроводящего трубопровода и 10 самоходных тележек, с центральным цилиндрическим мотор-редуктором, двумя колесными червячными редукторами и пневматическими шин. При такой компоновке трансмиссии образуется блокированная связь, препятствующая движению машины в обратном направлении [7].

При использовании заблокированных приводов, при определенных условиях эксплуатации, возможно образование эффекта циркуляции мощности из-за неравномерности окружных скоростей вращения выходных валов колесных редукторов. Этот эффект отрицательно сказывается на общем к.п.д. работы машины, а также увеличивает износ шин. В свою очередь, применение дифференциального привода исключает указанный недостаток, однако имеет свои отрицательные качества: так, если одно из колес опорной тележки попало в худшие сцепные условия, то второе колесо, также вследствие дифференциального эффекта, имеет пониженное сцепление с опорной поверхностью. Стоит отметить, что при использовании так называемого заблокированного привода поступательные скорости будут выравниваться только при буксовании или скольжении одного из колес [7].

Однако известна модификация машины для спокойного рельефа (патент РФ № 54287 U1, 2006), отличающаяся тем, что мотор-редукторы установлены на каждом пневматическом колесе самоходной тележки [11].

Недостатком такого решения, являются повышенные мощностные затраты на передвижение тележки из-за возникновения непроизводительной (паразитной) их составляющей вследствие рассогласования условий качения (по колеобразованию, буксованию и т.д.), в ведущем режиме,

обоих пневмоколес, а также снижения надежности привода при движении тележки на склоновых площадях, когда при скатывании под уклон, при наименьшем сопротивлении качению и затрат мощности, работают одновременно два мотор-редуктора [12, 17].

Материалы и методы исследования

Эксплуатация широкозахватных дождевальных машин на участках с разным по уклону рельефом требует особого внимания к режимам работы электропривода тележки. Конструкция машины предусматривает возможность использования как двух мотор-редукторов мощностью по 0,25 кВт каждый, так и одного ведущего. Однако, самоходная тележка машины, оборудованная двумя мотор-редукторами, сталкивается с проблемами неоптимальной их эксплуатации при работе на различных по уклону участках. Анализ показывает, что правильный выбор режима работы привода позволяет значительно повысить энергоэффективность системы [8, 16].

Как показали поисковые исследования (табл. 1), при работе машины на спокойном рельефе между потребляемой мощностью, шириной профиля пневмоколес и глубиной колеи существует прямая зависимость. Для системы с одним или двумя ведущими колесами эта зависимость выражается отношением:

$$\frac{0,60 - N}{B} = 0,05 \quad (1)$$

где N – потребляемая мощность (кВт);
 B – ширина профиля колеса (см).

Таблица 1– Мощностные характеристики мотор-редукторного привода с двумя ведущими пневмоколесами тележки многоопорной дождевальной машины для спокойного рельефа

| Варианты исполнения привода тележки | Значения показателей | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------------------|
| | Ширина профиля пневмоколеса B (глубина колеи), см | Потребляемая мощность N , кВт | Ширина профиля пневмоколеса B (глубина колеи), см | Потребляемая мощность N , кВт | Ширина профиля пневмоколеса B (глубина колеи), см | Потребляемая мощность N , кВт | Ширина профиля пневмоколеса B (глубина колеи), см | Потребляемая мощность N , кВт |
| С двумя ведущими пневмоколесами | 60 (5,0) | 0,30 | 50 (10,0) | 0,35 | 40 (15) | 0,40 | 30 (20) | 0,45 |

При ширине колеса 30 см и глубине колеи 20 см потребляемая мощность достигает 0,45 кВт, тогда как при ширине 60 см (колея 5 см) – снижается до 0,30 кВт. Однако даже в оптимальном случае до 25 % мощности расходуется на преодоление паразитных потерь, вызванных разницей в условиях качения колес.

Следовательно, для снижения непроизводительных (паразитных) затрат мощности на передвижение тележки многоопорной дождевальной машины на спокойном рельефе, необходимо обе-

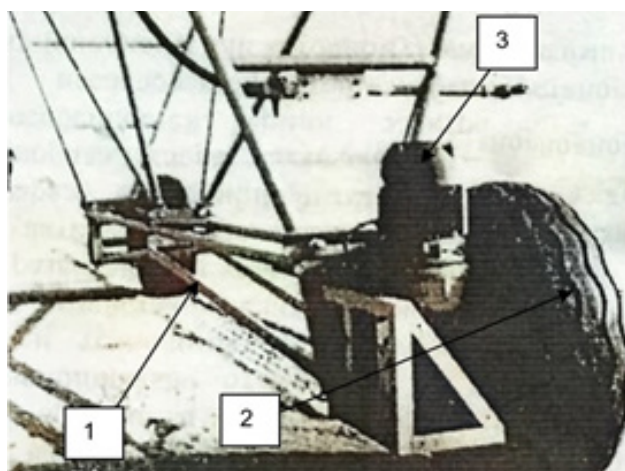
спечить работу в ведущем режиме только одного из пневмоколес; например, такое решение применяется на дождевальной машине английского производства Rainger 7 [18].

Для этого на тележке многоопорной дождевальной машины для работы на спокойном рельефе мотор-редукторный привод устанавливается на одном из пневмоколес, при отношении его мощности (N) к ширине профиля пневмоколеса (B) равным 0,002 (рис. 2) (табл. 2) (патент РФ №233081 U1) [10].



Таблица 2 – Мощностные характеристики мотор-редукторного привода с одним ведущим пневмоколом тележки многоопорной дождевальная машины для спокойного рельефа

| Варианты исполнения привода тележки | Значения показателей | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|------------------------------|---|------------------------------|---|------------------------------|---|------------------------------|
| | Ширина профиля пневмоколеса В (глубина колеи), см | Потребляемая мощность N, кВт | Ширина профиля пневмоколеса В (глубина колеи), см | Потребляемая мощность N, кВт | Ширина профиля пневмоколеса В (глубина колеи), см | Потребляемая мощность N, кВт | Ширина профиля пневмоколеса В (глубина колеи), см | Потребляемая мощность N, кВт |
| С одним ведущим пневмоколом | 60 (5,0) | 0,26 | 50 (10,0) | 0,28 | 40 (15) | 0,30 | 30 (20) | 0,32 |



1 – рама тележки; 2 – пневматическое колесо;
3 – мотор-редуктор

Рис. 2 – Тележка с энергосберегающим электроприводом ДМ «Кубань-ЛК1»

1 – trolley frame; 2 – pneumatic wheel;
3 – gear motor

Fig. 2 – Trolley with energy-saving electric drive DM "Kuban-LK1"

При одном ведущем пневмоколесе тележки мощность в основном затрачивается на сопротивление качению и изменяется в зависимости от ширины профиля пневмоколеса в пределах 0,26-0,32 кВт, что соответственно на 15-29 % меньше аналогичных показателей для тележки на двух ведущих пневмоколесах.

Однако использование компоновки самоходной тележки с одним ведущим мотор-редуктором, не позволяет использовать ДМ «Кубань-ЛК1» на полях с различными уклонами. Это связано с недостаточной мощностью одного мотор-редуктора для движения машины.

Анализ работы самоходной тележки на склонах показывает существенную разницу в нагрузке на двигатели и колеса. Например, при движении под уклон $-0,07^\circ$ нагрузка перераспределяется следующим образом: переднее колесо принимает 17000 Н (53 % веса), а заднее лишь 15000 Н (47 %), что обеспечивает ее большие сцепные свойства, в сравнении с задним колесом (табл. 3).

Таблица 3 – Характеристика сцепных свойств пневмоколес с мотор-редукторами на уклоне ($i=0,07$) (агрофон – поле, подготовленное под посев; тип почвы – суглинистая; скорость движения $V = 2$ м/мин; модель пневмошин – 18,3R24)

| Расположение пневмоколеса с мотор-редуктором на тележке | Нагрузка на пневмошину G, Н | Сила сцепления, $P_{сц}$, Н |
|---|-----------------------------|------------------------------|
| Переднее | 17000 | 1200 |
| Заднее | 15000 | 1000 |

Перераспределение весовой нагрузки приводит к неоптимальным условиям работы заднего электродвигателя, который в таких условиях потребляет энергию неэффективно. Такой режим эксплуатации мотора снижает КПД и коэффициент мощности, что способствует перегреву обмоток мотора, ускоряет износ узлов и снижает общий ресурс двигателя. Следовательно, для повышения надежности привода самоходной тележки при ее движении под уклон с диапазоном значений от 0 до $(-0,07)$ (ТУ на ДМ «Кубань-ЛК»), необходимо выключение одного из мотор-редукторов (рис. 3, а).

Это достигается тем, что в самоходной тележке

многоопорной дождевальной машины электропривод, включающий передний и задний электрические мотор-редуктора с гипоидными передачами, пневматические колеса на электропроводе, питающем задний мотор-редуктор, установлен для его выключения (при движении под уклон $i < 0$) и включения (при движении на ровной поверхности и на подъем $i > 0$), датчик наклона (патент РФ №2838279 С1) (рис. 3, б) [9].

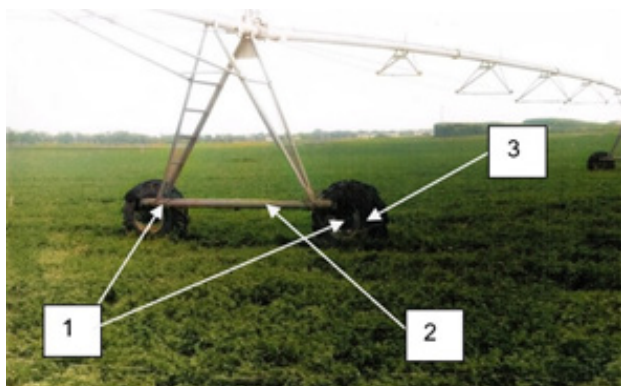
Самоходная тележка многоопорной дождевальной машины работает следующим образом. При подаче электроэнергии включаются оба мотор-редуктора, и дождевальная тележка начинает



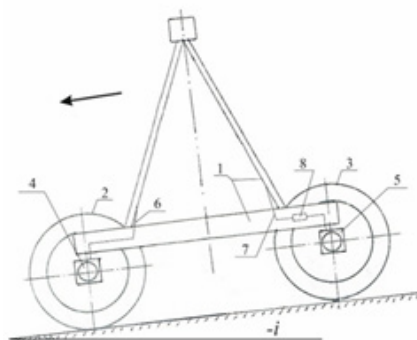
движение. При качении тележки под уклон датчик наклона, установленный на электропроводе, питающем задний мотор-редуктор, размыкает электрическую цепь и редуктор выключается. При движении самоходной тележки на подъем или на ровной поверхности датчик наклона замыкает электриче-

скую цепь и включает редуктор для совместной работы с другим редуктором.

В таблице 3 представлено обоснование количества работающих мотор-редукторов самоходной тележки многоопорной дождевальной машины кругового действия «Кубань-ЛК1».



а



б

а: 1 – отдельный электропривод; 2 – рама; 3 – пневматическое колесо

б: 1 – рама; 2 – переднее пневмоколесо; 3 – заднее пневмоколесо; 4 – передний электрический мотор-редуктор; 5 – задний электрический мотор-редуктор; 6, 7 – электропровода; 8 – датчик наклона

Рис. 3 – Тележка дождевальной машины с отдельным электроприводом

а: 1 – separate electric drive; 2 – frame; 3 – pneumatic wheel; 4 – front electric gear motor; 5 – rear electric gear motor; 6, 7 – electrical wiring; 8 – tilt sensor

б: 1 – frame; 2 – front pneumatic wheel; 3 – rear pneumatic wheel; 4 – front electric gear motor; 5 – rear electric gear motor; 6, 7 – electrical wiring; 8 – tilt sensor

Fig. 3 – Sprinkler truck with separate electric drive

Таблица 4 – Обоснование количества работающих мотор-редукторов самоходной тележки многоопорной дождевальной машины кругового действия «Кубань-ЛК» (агрофон – поле, подготовленное под посев; тип почвы – суглинистая; вес тележки $G=32000$ Н; скорость движения $V=2$ м/мин; мощность мотор-редуктора $N_m=0,25$ кВт; модель пневмошин – 18,3R24)

| Уклон местности, i (продольный угол наклона тележки) | Мощность на качение тележки, N_f кВт | Коэффициент загрузки мотор-редуктора, $K_3 = \frac{N_f}{N_T}$ | Целесообразное количество работающих мотор-редукторов, шт. |
|---|--|--|--|
| -0,07 | 0,16 | 0,64 | 1 |
| -0,035 | 0,21 | 0,84 | 1 |
| 0 | 0,27 | 1,1 | 2 |
| 0,035 | 0,32 | 1,3 | 2 |
| 0,07 | 0,37 | 1,4 | 2 |

Рассчитаем затраты мощности на передвижение, а также экономию мощности при отключении одного мотора асинхронного двигателя 0,5 кВт, применяемого на самоходных тележках ДМ «Кубань-ЛК1» [15].

При номинальном режиме работы мотор-редуктора (100 % загрузки) токовое потребление его приводов I (А) определяется по выражению (2):

$$I = \frac{N}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{250}{1,732 \times 380 \times 0,72 \times 0,78} = 0,69 \text{ А,} \quad (2)$$

где: N – мощность мотор-редуктора, кВт ($N=0,25$);

U – напряжение питания, В ($U=380$);

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности ($\cos \varphi=0,72$);

η – номинальный КПД привода ($\eta=0,72$).

При загрузке мотор-редуктора на 60 %:

$$I = \frac{150}{1,732 \times 380 \times 0,65 \times 0,70} = 0,60 \quad (3)$$

При загрузке мотор-редуктора на 60 % потребление составит 0,6 А. Энергетический расчет показывает значительное снижение эффективности при неполной загрузке. КПД двигателя падает с 78 % до 70 %, а коэффициент мощности уменьшается с 0,72 до 0,65. Токовая нагрузка в номинальном режиме составляет 0,69 А, тогда как при 60 % нагрузке этот показатель снижается лишь до 0,60 А, что свидетельствует о нелинейном



характере энергопотребления.

Энергетические потери в двух вариантах загрузки мотор-редукторов тележки составляют:

При номинальном режиме работы мотор-редуктора (100%):

$$P_{\text{потер.}} = N \times \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) = 250 \times \left(\frac{1}{0,78} - 1 \right) = 70,5 \quad (4)$$

где: $P_{\text{потер.}}$ – энергетические потери мощности, Вт;

При загрузке мотор-редуктора на 60 %:

$$P_{\text{потер.}} = 150 \times \left(\frac{1}{0,70} - 1 \right) = 64,3 \quad (5)$$

Потери мощности возрастают с 70,5 Вт до 64,3 Вт или с 28 % до 43 % от полезной мощности, что указывает на снижение общей эффективности системы.

При работе дождевальной машины на склоне (от 0 до -0,07) номинальная мощность работы двух моторов составит:

$$P = 2 \times N \times \left(\frac{1}{\eta} \right) = 2 \times 250 \times \left(\frac{1}{0,7} \right) = 0,71 \quad (6)$$

При отключении одного двигателя мощность составит 0,32 кВт. Как видно, экономия мощности около 0,39 кВт.

На основании приведенных данных загрузки мотор-редукторов при движении на склоне (от 0 до -0,07) был построен график зависимости мощности мотор-редуктора от коэффициента его загрузки и величины уклона (рис. 4), а также получена регрессионная зависимость (7).

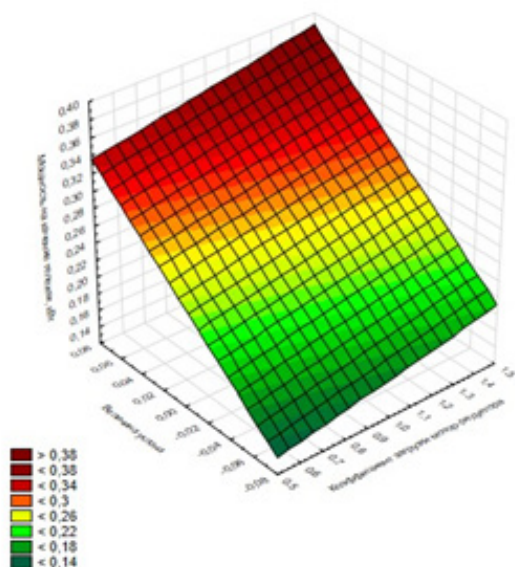


Рис. 4 – График зависимости потребляемой мощности мотор-редуктором на качение тележек от коэффициента его загрузки и величины уклона

Fig. 4 – Graph of the dependence of the power consumption of a geared motor for rolling trolleys on its load factor and slope value

$$N = 0,2124 + 0,0508 \times k_{\text{загр.}} + 1,2269 \times i \quad (7)$$

График показывает, что с увеличением абсолютного значения уклона (от 0 до -0,07) мощность мотор-редуктора возрастает при одинаковом коэффициенте загрузки. Это связано с дополнительной работой, необходимой для преодоления силы тяжести при движении на спуске. Полученная регрессионная зависимость имеет нелинейный характер, что может быть обусловлено изменением КПД при различных нагрузках и уклонах, а аппроксимация экспериментальных данных может быть использована для прогнозирования мощности при различных условиях эксплуатации.

Таким образом, выключение заднего мотор-редуктора на уклонах от 0 до -0,07 позволяет поддерживать оптимальные параметры работы электромоторов, а также способствует экономному их потреблению.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение адаптивной системы управления количеством активных приводов в зависимости от условий движения позволяет достичь значительной экономии энергоресурсов при одновременном повышении надежности работы дождевальной машины. Оптимальным решением является комбинированная система, автоматически переключающаяся между одно- и двухдвигательными режимами в зависимости от текущего уклона местности.

Список литературы

1. Баранский А.Н. Улучшение эксплуатационных показателей и использования колесных тракторов. — Минск : Урожай, 1968. — 256 с. ил.; 21.
2. ГОСТ 17494-87. Машины электрические вращающиеся. Методы охлаждения. Обозначения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. 16 с.
3. Евсеев, Е. Ю. Повышение производительности многофункциональной машины кругового действия на склонах / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. — 2023. — Т. 15, № 4. — С. 121-127. — DOI 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. — EDN VPSSQO.
4. Евсеев, Е. Ю. Повышение эффективности применения многофункциональной машины на склоновых площадях / Е. Ю. Евсеев // Нива Поволжья. — 2023. — № 2(66). — DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005. — EDN JDPPNM.
5. Кравченко В.А. Результаты испытаний основных сельскохозяйственных агрегатов с упруго-демпфирующим механизмом в силовой передаче мобильного энергетического средства класса 1,4 / Кравченко В.А., Кравченко Л.В. // Вестник аграрной науки Дона. 2022. Т. 15. № 3 (59). С. 15-25.
6. Обоснование регулирования расхода дождевальных аппаратов широкозахватных машин кругового действия / А. И. Рязанцев, С. С. Турпин, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Мелиорация и водное хозяйство. — 2022. — № 3. — С. 6-9. — DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. — EDN DJWYGY.
7. Оценка энергетических показателей усовершенствованного привода многоопорных дождевальных машин, типа «Кубань-ЛК1» / А. И. Рязанцев, А. Н. Зазуля, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов //



Наука в центральной России. – 2023. – № 6(66). – С. 62-70. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-6-62-70. – EDN WXSNDX.

8. Патент № 2770811 С1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Многоопорная дождевальная машина кругового действия : № 2020144291 : заявл. 29.12.2020 : опубл. 22.04.2022 / А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN TGXCWZ.

9. Патент № 2838279 С1 Российская Федерация, МПК В60В 15/26, А01G 25/09. Самоходная тележка многоопорной дождевальной машины : заявл. 07.11.2024 : опубл. 14.04.2025 / А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга". – EDN LAHRKA.

10. Патент на полезную модель № 233081 U1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Тележка многоопорной дождевальной машины для спокойного рельефа : заявл. 14.02.2025 : опубл. 03.04.2025 / А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга". – EDN XTKJAJ.

11. Патент на полезную модель № 54287 U1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Многоопорная малоэнергоемкая дождевальная машина кругового действия с электроприводом : № 2004135861/22 : заявл. 08.12.2004 : опубл. 27.06.2006 / А. И. Рязанцев, Г. В. Ольгаренко, В. И. Городничев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения

"Радуга" (ФГНУ ВНИИ "Радуга"). – EDN TGOLVY.

12. Рязанцев, А. И. Особенности работы дождевальной машины «Кубань - ЛК1» на склоновых площадях / А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Экология и строительство. – 2021. – № 3. – С. 22-29. – DOI 10.35688/2413-8452-2021-03-002. – EDN COQOTS.

13. Соловьев Д.А. Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины «Каскад 65Т» / Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Гrepечук Ю.Н., Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е. // Природообустройство. 2023. № 1. С. 28-32.

14. Соловьев Д.А., Камышов Г.Н., Терехова Н.Н., Бакиров С.М. Моделирование нейрорегулирования скоростью дождевальных машин // Аграрный научный журнал. 2020. №7. С.81-84.

15. СТО АИСТ 11.1 – 2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 54 с.

16. Технические решения по повышению производительности многофункциональной машины кругового действия на склоновых участках / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев, Г. К. Рембалович [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 119-124. – DOI 10.36508/RSATU.2023.72.87.016. – EDN ZMYSJF.

17. Technological Features of Irrigation and Assessment Indicators of Multibasic Irrigation Machines Running Systems Efficiency (on the Example of IM Kuban-LK1) / A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov, A. I. Smirnov [et al.] // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – Vol. 8, No. 8 S3. – P. 404-406. – EDN GLITFM.

18. SPP System Limited Agricultural Serviser. Дождевальная система Rainger 7. Брошюра № PME 2.0/772. Oxford Road, Reading, England.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Baranskiy A.N. *Uluchshenie ekspluatatsionnykh pokazateley i ispolzovaniya kolesnykh traktorov*. – Minsk : Urozhay, 1968. – 256 s. il.; 21.

2. GOST 17494-87. *Mashiny elektricheskie vrashchayushchiesya. Metody okhlazhdeniya. Oboznacheniya*. M.: Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam, 1987. 16 s.

3. Evseev, E. Yu. *Povyshenie proizvoditelnosti mnogofunktsionalnoy mashiny krugovogo deystviya na sklonakh* / E. Yu. Evseev, A. I. Ryazantsev // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 121-127. – DOI 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. – EDN VPSSQO.

4. Evseev, E. Yu. *Povyshenie effektivnosti primeneniya mnogofunktsionalnoy mashiny na sklonovykh ploshchadyakh* / E. Yu. Evseev // *Niva Povolzhya*. – 2023. – № 2(66). – DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005. – EDN JDPPNM.

5. Kravchenko V.A. *Rezultaty ispytaniy osnovnykh selskokhozyaystvennykh agregatov s uprugodempfiruyushchim mekhanizmom v silovoy peredache mobilnogo energeticheskogo sredstva klassa 1,4* / Kravchenko V.A., Kravchenko L.V. // *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2022. Т. 15. № 3 (59). С. 15-25.

6. *Obosnovanie regulirovaniya raskhoda dozhdevalnykh apparatov shirokoyakhvatnykh mashin krugovogo deystviya* / A. I. Ryazantsev, S. S. Turapin, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov // *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*. – 2022. – № 3. – С. 6-9. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. – EDN DJWYGY.

7. *Otsenka energeticheskikh pokazateley usovershenstvovannogo privoda mnogoopornykh dozhdevalnykh mashin, tipa «Kuban-LK1»* / A. I. Ryazantsev, A. N. Zazulya, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov // *Nauka v tsentralnoy Rossii*. – 2023. – № 6(66). – С. 62-70. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-6-62-70. – EDN WXSNDX.

8. Патент № 2770811 С1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Многоопорная дождевальная



mashina krugovogo deystviya : № 2020144291 : zayavl. 29.12.2020 : opubl. 22.04.2022 / A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov [i dr.] ; zayavitel Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskii universitet imeni P.A. Kostycheva". – EDN TGXCWZ.

9. Patent № 2838279 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B60B 15/26, A01G 25/09. Samokhodnaya telezhka mnogoopornoy dozhdevalnoy mashiny : zayavl. 07.11.2024 : opubl. 14.04.2025 / A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev ; zayavitel Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie "Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sistem orosheniya i selkhozvodostsnabzheniya "Raduga". – EDN LAHRKA.

10. Patent na poleznuyu model № 233081 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01G 25/09. Telezhka mnogoopornoy dozhdevalnoy mashiny dlya spokoynogo relefa : zayavl. 14.02.2025 : opubl. 03.04.2025 / A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev ; zayavitel Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie "Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sistem orosheniya i selkhozvodostsnabzheniya "Raduga". – EDN XTKJAJ.

11. Patent na poleznuyu model № 54287 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01G 25/09. Mnogoopornaya maloenergoemkaya dozhdevalnaya mashina krugovogo deystviya s elektroprivodom : № 2004135861/22 : zayavl. 08.12.2004 : opubl. 27.06.2006 / A. I. Ryazantsev, G. V. Olgarenko, V. I. Gorodnichev [i dr.] ; zayavitel Federalnoe gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sistem orosheniya i selkhozvodostsnabzheniya "Raduga" (FGNU VNII "Raduga"). – EDN TGOLVY.

12. Ryazantsev, A. I. Osobennosti raboty dozhdevalnoy mashiny «Kuban - LK1» na sklonovykh ploshchadyakh / A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov // *Ekologiya i stroitel'stvo*. – 2021. – № 3. – S. 22-29. – DOI 10.35688/2413-8452-2021-03-002. – EDN COQOTC.

13. Solovov D.A. Organizatsiya uchastka orosheniya dlya effektivnoy ekspluatatsii dozhdevalnoy mashiny «Kaskad 65T» / Solovov D.A., Goryunov D.G., Grepechuk Yu.N., Zagoruyko M.G., Kuznetsov R.E. // *Prirodoobustroytvo*. 2023. № 1. S. 28-32.

14. Solovov D.A., Kamyshov G.N., Terekhova N.N., Bakirov S.M. Modelirovanie neyroupravleniya skorostyu dozhdevalnykh mashin // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2020. №7. S.81-84.

15. STO AIST 11.1 – 2010. Ispytaniya selskokhozyaystvennoy tekhniki. Mashiny i ustanovki dozhdevalnye. Metody otsenki funktsionalnykh pokazateley / FGBNU «Rosinformagrotekh». – M., 2012. – 54 s.

16. Tekhnicheskie resheniya po povysheniyu proizvoditelnosti mnogofunktsionalnoy mashiny krugovogo deystviya na sklonovykh uchastkakh / E. Yu. Evseev, A. I. Ryazantsev, G. K. Rembalovich [i dr.] // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. – 2023. – T. 15, № 2. – S. 119-124. – DOI 10.36508/RSATU.2023.72.87.016. – EDN ZMYSJF.

17. Technological Features of Irrigation and Assessment Indicators of Multibasic Irrigation Machines Running Systems Efficiency (on the Example of IM Kuban-LK1) / A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov, A. I. Smirnov [et al.] // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. – 2019. – Vol. 8, No. 8 S3. – P. 404-406. – EDN GLITFM.

18. SPP System Limited Agricultural Serviser. Dozhdevalnaya sistema Rainger 7. Broshyura № PME 2.0/772. Oxford Road, Reading, England.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Рязанцев Анатолий Иванович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и технических систем в АПК, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ryazantsev.41@mail.ru

Евсеев Евгений Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии материалов и технических систем в АПК, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Рембалович Георгий Константинович, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», rgk.rgatu@yandex.ru

Author information

Ryazantsev Anatoly I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Materials Technology and Technical Systems in Agriculture, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, ryazantsev.41@mail.ru

Yevseev Evgeny Yu., Candidate of Technical Sciences Associate, Professor of the Department of Materials Technology and Technical Systems in Agriculture, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Rembalovich Georgy K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, rgk.rgatu@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 01.10.2025; одобрена после рецензирования 13.11.2025; принята к публикации 15.12.2025

The article was submitted 01.10.2025; approved after reviewing 13.11.2025; accepted for publication 15.12.2025



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.55
DOI: 10.36508/RSATU.2025.94.25.022

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ГИДРОГЕЛЯ

Алексей Викторович Сибирёв¹, Максим Александрович Мосяков²✉, Сергей Николаевич Петухов³

^{1, 2, 3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

¹ sibirev2011@yandex.ru

² Maks.Mosyakov@yandex.ru

³ petukhov61@bk.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В статье исследована актуальность возделывания сахарной свеклы не только как культуры для получения сахара в промышленных масштабах, но и как ценного сырья для многих отраслей легкой промышленности. Отмечается и кормовая ценность свекловичной ботвы, жома и мелассы. Приводятся зональные данные по районам возделывания сахарной свеклы в РФ. Представлены результаты литературного обзора, подтверждающие существующую проблему, связанную с выдуванием посевного материала, достигающего в разные годы до 30 % от общих посевных площадей. Рассмотрены данные по семенному материалу, отмечающие необходимость значительного количества влаги для быстрых и дружных всходов. Целью настоящего исследования явилась разработка устройства для порционной подачи гидрогеля в зону высева семян для повышения их всхожести и снижения выдувания семенного материала.

Методология. Методология научного исследования построена на анализе существующих технических решений и научных работ. Проанализированы свойства гидрогеля, который позволят обеспечить восполнение существующих пробелов в производстве сахарной свеклы. На основе патентного поиска определены существующие конструктивные решения устройств с анализом общих недостатков, позволяющие одновременно с посевом семян вносить гидрогель.

Результаты. Учеными агроинженерного центра ВИМ предложена оригинальная конструкция модуля для внутрипочвенного внесения гидрогеля с описанием его функционирования. Разработано техническое задание, на основе которого готовится комплект конструкторской документации.

Заключение. Анализ конструкций существующих устройств выявил ряд общих недостатков, связанных с невозможностью обеспечения равномерного увлажнения сополимеров, их порционной подачи с посевным материалом; с выбранным состоянием гидрогеля для внесения его в почву, при котором не обеспечивается равномерность набухания сополимеров и накопление в них влаги. Внедрение модуля позволит повысить всхожесть семенного материала на 5 % и исключить его выдувание из почвы.

Ключевые слова: сахарная свекла, выдувание семян, гидрогель, внутрипочвенное внесение, модуль, всхожесть семян

Для цитирования: Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Петухов С.Н. Разработка модуля для внутрипочвенного внесения гидрогеля // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №4, С.178-181 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.94.25.022>

Original article

DEVELOPMENT OF A MODULE FOR INTRASOIL APPLICATION OF HYDROGEL

Alexey V. Sibirev¹, Maxim A. Mosyakov²✉, Sergey N. Petukhov³

^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

¹ sibirev2011@yandex.ru

² Maks.Mosyakov@yandex.ru

³ petukhov61@bk.ru

**Abstract.**

Problem and purpose The article emphasizes the importance of cultivating sugar beet not only as a crop for producing sugar on an industrial scale, but also as a valuable raw material for many branches of light industry. The forage value of beet tops, pulp and molasses is also noted. Zonal data on sugar beet cultivation areas in the Russian Federation are provided. The results of a literature review are presented, confirming the existing problem associated with the blowing away of seed material in different years by region, reaching 30% of the total sown area. The data on seed material are considered, stating the need for a double amount of moisture compared to its mass, for fast and friendly shoots. The purpose of this study was to develop a device for portioned supply of hydrogel to the seeding zone to increase their germination and reduce blowing away of seed material.

Methodology. The basis of the research methodology is the analysis of scientific works and technical solutions. The properties of the hydrogel are analyzed, which will provide solutions to existing gaps in the production of sugar beet. Based on the patent search, existing design solutions for devices with an analysis of common shortcomings are determined, allowing the hydrogel to be introduced simultaneously with seeding.

Results. Scientists from the VIM agroengineering center have proposed an original design of a module for the subsurface application of hydrogel with a description of its operation. A technical specification has been developed, based on which a set of design documentation is being prepared.

Conclusion. Analysis of the designs of existing devices revealed a number of common shortcomings related to the impossibility of ensuring uniform moistening of copolymers, their portioned supply with seed material, the selected state of the hydrogel for its introduction into the soil, which does not ensure uniform swelling of copolymers and accumulation of moisture in them. The introduction of the module will increase the germination of seed material by 5% and eliminate its blowing out.

Key words: sugar beet, seed blowing, hydrogel, subsoil application, module, seed germination.

For citation: Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Petukhov S.N. Development of a module for subsoil application of hydrogel // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.4, P. 178-181 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.94.25.022>

Введение

Сахарная свёкла имеет важнейшее значение для сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности страны. Основное назначение данной культуры в Российской Федерации – получение сахара в промышленных масштабах [1].

Промышленное производство сахара из сахарной свеклы характеризуется значительными объемами отходов и побочной продукции [2]. Эти объёмы являются ценным ресурсом для других отраслей производства страны, в частности, легкой промышленности. Широко известны высокие кормовые качества свекловичной ботвы, жома, мелассы. Урожайность культуры во многом зависит от почвенно-климатических и технологических условий. Агроклиматические условия районов свеклосеяния в РФ весьма разнообразны [3]. Культура возделывается в основных четырех зонах: достаточного увлажнения – ЦФО; недостаточного увлажнения – ПВО и засушливой – ЮФО, СФО [2].

Материалы и методы

Анализ литературных источников разных лет, находящихся в открытом доступе, свидетельствует о существующей проблеме выдувания посевного материала из почвы, которое приводит к потерям до 30 % посевов сахарной свеклы. Выдувание семян фиксировалось в Башкирии, Краснодарском крае, Воронежской, Курской и других областях. По данным Росстата, например, в 2015 году в регионах ЦФО от неблагоприятных погодных условий поля с сахарной свеклой пострадали на общей площади более 70 тыс. га.

Общезвестно, что для прорастания семени сахарной свёклы необходимо большое количество влаги. Поэтому к посеву приступают, как правило, как только верхний слой почвы прогревает-

ся до температуры 6-8°C [1]. Такие ранние сроки посева семян обусловлены желанием аграриев увеличить всхожесть семенного материала. Оптимальной для прорастания считается 20-23 %-я влажность почвы [4].

Для решения проблемы выдувания и обеспечения необходимым количеством влаги семенного материала, особенно в засушливых районах и в местах с недостаточным увлажнением, была рассмотрена возможность использования гидрогеля.

Свойства гидрогеля [5,7]:

- создаёт постоянный источник влаги для корневой системы;
- повышает приживаемость семян и рассады;
- делает растения более устойчивыми к болезням;
- улучшает структуру почвы;
- сохраняет в земле питательные вещества от внесённых удобрений.

Для внутрипочвенного внесения гидрогеля учеными агроинженерного центра ВИМ была предложена оригинальная конструкция модуля.

Разработке предшествовал патентный анализ существующих конструктивных решений по внесению гидрогеля одновременно с посевом семенного материала.

Результаты и обсуждение

Установлено несколько известных технических решений внесения гидрогеля (например, техническое решение [6] сеялки, обеспечивающее возможность одновременного посева и внесения сополимеров гидрогеля), которым присущи общие недостатки [7-8]:

- невозможность обеспечения равномерного увлажнения сополимеров и их порционной подачи с посевным материалом;



– выбранное состояние гидрогеля для внесения его в почву, при котором не обеспечивается равномерность набухания сополимеров и накопление в них влаги.

Цель работы – разработка устройства для порционной подачи гидрогеля в зону высева семян с повышением их всхожести и исключения выдувания семенного материала. По результатам выпол-

ненного анализа предложено устройство – модуль для внутрипочвенного внесения гидрогеля, например, одновременно с посевом семян сахарной свеклы (рис.). Внедрение разработанного модуля для внутрипочвенного внесения гидрогеля позволит повысить всхожесть семенного материала на 5 % и исключить его выдувание.



15 – дозаторы; 16 – сетчатый фильтр;
17 – сливной клапан; 18 – датчик контроля прохождения семян

Рис. – Модуль для внутрипочвенного внесения гидрогеля

1 – frame; 2 – hopper; 3 – liquid tank;
4 – lid; 5 and 6 – hydraulic mixing devices,
7 and 8 – liquid feed nipple into the tank and hydrogel concentrate into the hopper;
9 – hydraulic pump; 10 – electric drive with sleeves; 11 – shut-off valve; 12 – extruder;
13 – microcontroller; 14 – distributor;
15 – dispensers; 16 – mesh filter;
17 – drain valve;

18 – seed passage control sensor
Fig. – Module for subsurface application of hydrogel

Модуль для внутрипочвенного внесения гидрогеля работает следующим образом. Перед началом посевных работ оператор производит монтаж модуля на раму сеялки. Для этого на монтажной раме 1 модуля есть специализированное приспособление. После завершения монтажа модуля бункер 2 модуля заполняют водой (вода не должна содержать механические примеси). После заполнения бака 3 оператор открывает крышку 4 бака 3 и добавляет в жидкость сополимеры геля. Они поступают в бак 3 через сетчатый фильтр 16. Далее оператор закрывает крышку 4 бака 3 и включает гидروперемешивающее устройство 6 (минимальное время процесса перемешивания – 15 минут). Сополимеры быстро набухают, поглощая влагу, и превращают жидкость в баке 3 в концентрат гидрогеля. После завершения процесса оператор с помощью гидравлического насоса 9 с рукавами 10 через открытый запорный клапан 11 и штуцер 8 подает концентрат геля в бункер 2. После этого запорный клапан 11 переключают. Поступивший в бункер 2 концентрат активно перемешивается с водой при помощи гидروперемешивающего устройства 5. После этого из нижней части бункера 2 полученную однородную смесь забирает экструдер 12 с электроприводом и подает в распределительное устройство 14. В момент срабатывания датчика 18, контролирующего прохождение семян через сошник, его сигнал синхронизируется с микроконтроллером 13, который ими управляет и обеспечивает порционную подачу смеси геля по гибким рукавам от распределителя 14. Смесь поступает к установленным дозаторам 15 и через них в почву. Внесение смеси геля осуществляется порционно, одновременно с поступлением семенного материала в заранее подготовленное ложе. После завершения работы бункер 2 модуля для

внутрипочвенного внесения гидрогеля промывают, сливая содержимое через сливной клапан 17. Количество устанавливаемых датчиков 18 равно количеству сошников сеялки.

Все электрооборудование модуля для внутрипочвенного внесения гидрогеля питается от бортовой сети трактора.

Заключение

Анализ конструкций существующих устройств выявил ряд общих недостатков, в частности, невозможность обеспечения равномерного увлажнения сополимеров и их порционной подачи с посевным материалом; выбранное состояние гидрогеля для внесения его в почву, при котором не обеспечивается равномерность набухания сополимеров и накопление в них влаги. Внедрение разработанного модуля для внутрипочвенного внесения гидрогеля позволит повысить всхожесть семенного материала на 5 % и исключить его выдувание.

Список источников

1. Федоренко В.Ф., Мишунов Н.П., Щеголихина Т.А., Минакова О.А., Бартенев И.И., Макаров В.А., Еремин П.А. Инновационные технологии производства, хранения и переработки сахарной свеклы: анализ. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020.
2. Мосяков М.А. Исследование физико-механических свойств сахарной свеклы как объекта уборки // Аграрный вестник Верхневолжья. 2025. № 2(51). С. 16-22.
3. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Мосяков М.А. Методика и результаты лабораторно-полевых исследований сепарирующей системы машины для уборки сахарной свеклы. // Аграрная наука. 2024;(7):154-159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-154-159>
4. Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Чистякова О.С. Систематизация основных проблем технологий



возделывания и уборки сахарной свеклы // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 2. С. 118-125.

5. Старовойтов, В. И. Возделывание картофеля с использованием влагосберегающих полимеров / В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2015. – № 1(65). – С. 15-19. – EDN: TYJHJQJ

6. Патент РФ № 2789007, 26.01.2023. Секция сеялки с устройством подачи гидрогеля // Патент России №2789007. 2023. Бюл. № 3./ Цепляев В.А.,

Новиков А.Е., Цепляев А.Н., Магомедов А.М. (RU), Родин К.А., Тимошенко В.В.

7. Цепляев, А. Н. Теоретическое обоснование параметров машины для посадки картофеля с гидрогелем при орошении / А. Н. Цепляев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 2(70). – С. 499-507. – DOI 8.32786/2071-9485-2023-02-58. – EDN SLCPBA.

8. Цепляев А. Н., Цепляев В. А., Магомедов А. М. Разработка и исследование секции сеялки для посева семян овощных и бахчевых культур одновременно с гидрогелем. // Известия НВ АУК. 2021. 1(61). 379-389. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-36.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Shchegolikhina T.A., Minakova O.A., Bartenev I.I., Makarov V.A., Yerein P.A. Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva, khraneniya i pererabotki sakharnoy svekly: analit. obzor. M.:FGBNU «Rosinformagrotekh», 2020.

2. Mosyakov, M.A. Investigation of the physico-mechanical properties of sugar beet as an object of harvesting // Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2025. No. 2(51). pp. 16-22.

3. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Mosyakov M.A. Method and results of laboratory and field studies of a separating system with thermal energy of cleaning a machine for sugar beet harvesting. // Agrarian science. 2024;(7):154-159. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-154-159>

4. Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Chistyakova O.S. Systematization of the main problems of sugar beet cultivation and harvesting technologies // Agrarian Bulletin of the Upper Volga region. 2023. No. 2. pp. 118-125.

5. Starovoitov, V. I. Potato cultivation using moisture-saving polymers / V. I. Starovoitov, O. A. Starovoitova, A. A. Manokhina // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Goryachkin Moscow State Agroengineering University". – 2015. – № 1(65). – Pp. 15-19. – EDN: TYJHJQJ

6. Patent No. 2789007, 01.26.2023. Planter section with hydrogel supply device // Patent No. 2789007. 2023. Byul. No. 3. / Tseplyaev V.A., Novikov A.E., Tseplyaev A.N., Magomedov A.M., Rodin K.A., Timoshenko V.V.

7. Tseplyaev A. N. Theoretical justification of the parameters of the potato planting machine with hydrogel during irrigation. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2023. 2(70). 499-507 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-58.

8. Tseplyaev A. N., Tseplyaev V. A., Magomedov A.M. Development and research of a section of a seed drill for sowing seeds of vegetable and melon crops simultaneously with hydrogel. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2021. 1(61). 379-389 (in Russian). DOI: 10.32786/2071- 9485-2021-01-36

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Сибирёв Алексей Викторович, д-р техн. наук, ORCID – 0000-0002-9442-2276, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, sibirev2011@yandex.ru

Мосяков Максим Александрович, канд. техн. наук, ORCID – 0000-0002-5151-7312, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Maks.Mosyakov@yandex.ru

Петухов Сергей Николаевич, канд. с.-х. наук, ORCID – 0000-0003-2212-8569, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, petukhov61@bk.ru

Author information

Sibirev Aleksey V., D.Sc. (Eng.), ORCID – 0000-0002-9442-2276, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, sibirev2011@yandex.ru

Mosyakov Maksim A., Ph.D. (Eng.), ORCID – 0000-0002-5151-7312, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Maks.Mosyakov@yandex.ru

Petukhov Sergey N., Ph.D. (Agr.), ORCID – 0000-0003-2212-8569, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, petukhov61@bk.ru

Статья поступила в редакцию 26.09.2025; одобрена после рецензирования 30.10.2025; принята к публикации 15.10.2025

The article was submitted 26.09.2025; approved after reviewing 26.09.2025; accepted for publication 26.09.2025



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 629.45/.46 + 06
DOI: 10.36508/RSATU.2025.71.13.023

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МИКРОКЛИМАТА И ОБОРОТНЫХ ВОД
РЕФРИЖЕРАТОРНОГО ВАГОНА ПО ПЕРЕВОЗКЕ ЖИВОЙ РЫБЫ**

Сергей Вадимович Старовойтов¹✉, Надежда Валерьевна Кондакова², Иван Алексеевич Успенский³, Адик Викторович Онкаев⁴, Елена Евгеньевна Щуцкая⁵

¹ ФГБОУ ВО Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Россия

² ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

³ ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

⁴ ФГБОУ ВО Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова, г. Элиста, Россия

⁵ ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

¹ se.starovoytov@yandex.ru

² nkondakova@donstu.ru

³ ivan.uspensckij@ya.ru

⁴ onkaev.adik08@yandex.ru

⁵ elenashuk71@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Развитие и удешевление транспортной логистики рыбных ресурсов является приоритетным направлением. Транспортировка рыбной продукции предполагает реализацию товарной живой рыбы, предварительно замороженной или в охлажденном виде. Целью настоящей статьи является обеспечение микроклимата в рефрижераторных вагонах и качества воды согласно СанПин для транспортировки рыбы и морепродуктов на большие расстояния.

Методология. Развитие аквакультуры – одно из важнейших направлений развития сельскохозяйственной деятельности, особенно в странах, богатых водными ресурсами. Повышение качества и удешевление транспортной логистики рыбной продукции положительно скажется не только на экспорте, но станет толчком развития внутреннего рынка. Для достижения поставленной цели проведен анализ внешних факторов, влияющих на процесс перевозки рыбы и морепродуктов и средств поддержания микроклимата в живорыбном вагоне; сравнение систем поддержания микроклимата, в том числе систем аэрации оборотной воды емкостей с рыбой; анализ эффективности биологической очистки оборотных сточных вод.

Результаты. Для оптимизации затрат, минимизации технических остановок и привлечения персонала станций предложена мобильная очистная установка замкнутого водоснабжения (УЗВ), позволяющая поддерживать качество воды согласно СанПиН на длительное время, унифицировать систему аэрации и поддерживать температурный режим. Предлагаемая система очистки оборотных сточных вод позволит вдвое снизить химическое потребление кислорода и на 5 % биологическое потребление кислорода.

Заключение. Новизна результатов заключается в усовершенствовании процесса эксплуатации с целью повышения качества оборотных вод и микроклимата живорыбного вагона наряду с сокращением затрат.

Ключевые слова: автономный рефрижераторный вагон, модернизация, железнодорожный хладотранспорт, живорыбный вагон, перевозка рыбы, биологическая очистка

Для цитирования: Старовойтов С.В., Кондакова Н.В., Успенский И.А., Онкаев В.А., Щуцкая Е.Е. Повышение качества микроклимата и оборотных вод рефрижераторного вагона по перевозке живой рыбы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, № 4, С. 182-188 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.71.13.023>



IMPROVING THE QUALITY OF THE MICROCLIMATE AND CIRCULATING WATERS OF A REFRIGERATED TRUCK FOR THE TRANSPORTATION OF LIVE FISH

Sergey V. Starovoytov¹✉, Nadezhda V. Kondakova², Ivan A. Uspensky³, Adik V. Onkaev⁴, Elena E. Shchutskaya⁵

¹ Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

² Don State Technical University Rostov-on-Don, Russian Federation

³ Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

⁴ B. B. Gorodovikov Kalmyk State University, Elista, Russian Federation

⁵ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

¹ se.starovoytov@yandex.ru

² nkondakova@donstu.ru

³ ivan.uspensckij@ya.ru

⁴ onkaev.adik08@yandex.ru

⁵ elenashuk71@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. The objectives of the study are to develop technical means to ensure a microclimate in refrigerated wagons and water quality for the transportation of live fish in accordance with the SanPiN.

Methodology. The development of aquaculture is one of the most important areas of agricultural development, especially in countries rich in water resources. Improving the quality and cheapening the transport logistics of fish products will have a positive impact not only on exports, but will also boost the development of the domestic market. To achieve this goal, an analysis of external factors affecting the process of transporting fish and seafood and the means of maintaining the microclimate in a rolling stock car was carried out, a comparison of microclimate maintenance systems, including aeration systems for recycled water in fish tanks, and an analysis of the effectiveness of biological treatment of recycled wastewater.

Results. To optimize costs, minimize technical shutdowns and involve station personnel, a mobile closed-circuit water supply (USV) treatment plant has been proposed, which allows maintaining water quality in accordance with SanPiN for a long time, unifying the aeration system and maintaining the temperature regime. The proposed recycling wastewater treatment system will reduce chemical oxygen consumption by half and biological oxygen consumption by 5%.

Conclusion. The novelty of the results lies in the improvement of the operation process in order to improve the quality of circulating water and the microclimate of the washing car, along with cost reduction.

Key words: self-contained refrigerated wagon, modernization, railway refrigeration transport, life-saving wagon, fish transportation, biological purification.

For citation: Starovoytov S.V., Kondakova N.V., Uspensky I.A., Onkaev V.A., Shchutskaya E. E. Improving the quality of the microclimate and circulating waters of a refrigerated truck for the transportation of live fish // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.4, P.1 82-188 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.71.13.023>

Введение

С 2006 года в Российской Федерации аквакультура была признана приоритетным направлением развития сельского хозяйства и в качестве стимулирования роста и развития рыбоводческих хозяйств поддерживается субсидиями и программами кредитования. Развитие аквакультуры диктуется географическим положением и климатом. В 2024 году потребление рыбы составило 22,7 кг/год на человека. Российская Федерация богата водными ресурсами, где большая доля рыбной продукции производится в фермерских хозяйствах, но основными источниками рыбной продукции являются Дальневосточный и Северный бассейны.

Главными промысловыми единицами из приоритетных объектов водных ресурсов являются минтай и тихоокеанская сельдь, которые помимо внутреннего рынка активно идут на экспорт. Внутрь страны рыбная продукция распространяется в замороженном виде железнодорожным,

морским или автомобильным транспортом, но затраты на доставку из основных регионов промысла в основные регионы потребления дороже, чем на экспорт, что обуславливает выбор простого и дешевого пути по отправке рыбной продукции на экспорт, где основным потребителем является Китай.

Развитие и удешевление транспортной логистики рыбных ресурсов является приоритетным направлением. Например, доля логистики для мороженого минтая с Дальнего Востока в центральные регионы составляет порядка 30 %, при перевозке более ценных пород рыб или рыбопродукции эта доля меньше. Постепенно осваивается Севморпуть, где отсутствуют дополнительные погрузочно-разгрузочные процедуры и малыми затратами легко соблюдается температурный режим. Но ограниченный сезон доставки и отсутствие регулярных рейсов, а также трудности с обратной загрузкой транспортного рефрижераторно-



го флота являются очевидными недостатками [1].

Способ транспортировки рыбной продукции диктуется целью перевозки – реализация товарной живой рыбы, предварительно замороженной или в охлажденном виде. Наиболее распространенной является перевозка замороженной рыбы, где различают следующие температурные режимы: естественная заморозка при -6°C , мокрая заморозка при -12°C и сухая заморозка при -18°C . Перевозка живой рыбы кардинально отличается. При времени транспортировки не более 4 часов рыбу охлаждают до состояния анабиоза и не требуются емкости с водой [2, 3].

Целью настоящей работы является разработка технических средств для обеспечения микроклимата в рефрижераторных вагонах и качества воды согласно СанПин для транспортировки рыбы и морепродуктов на большие расстояния [4].

Задачами исследования являются:

- анализ внешних факторов, влияющих на процесс перевозки рыбы и морепродуктов;
- анализ средств поддержания микроклимата в живорыбном вагоне;
- сравнение систем аэрации оборотной воды емкостей с рыбой;
- анализ эффективности биологической очистки оборотных сточных вод;
- анализ полученных данных.

Материалы и методы исследования

Современные требования технического регламента к перевозкам и государственный контроль рыбной продукции требуют соблюдения параметров микроклимата в кузове используемого транспорта [5]. Заблаговременно, за 2-3 часа до отправки, рыбы помещается в чистую, проточную воду

для промывки жабр и опорожнения от остатков корма. Далее рыба помещается в подготовленные емкости с водой, где для её сохранности выполняется ряд требований:

- поддержание требуемых параметров микроклимата помещений и параметров воды в емкостях;
- наличие резервных баллонов с кислородом;
- соответствие размеров емкостей количеству и размеру особей рыбы;
- соответствие объема воды в емкостях количеству рыбы.

Непродолжительная перевозка мальков допускает использование резервуаров объемом не менее 50 литров, в том числе без аэрации, но время перевозки и температурный режим регламентируются в зависимости от разновидности рыбы.

Для нужд перевозки больших объемов товарной живой рыбы на большие расстояния налажен серийный выпуск специальных живорыбных вагонов. Сцепки из 4-5 вагонов имеют технический вагон с аварийным дизель-генератором и купе для обслуживающего персонала. Живорыбный вагон имеет вместимость 30 м^3 воды, где возможно перевозить до 12 тонн товарной рыбы или до 2 тонн производителей или ремонтного молодняка.

Некоторые виды рыб очень чувствительные к условиям перевозки – химический состав воды и ее температура должны соответствовать условиям культивирования. В противном случае негативные условия скажутся на товарном виде. Важным критерием является соотношение: объем рыбы к объему тары для транспортировки. В таблице 1 приведены нормы объема тары для рыбы и посадки особей [6].

Таблица 1 – Нормы объема тары для рыбы и посадки особей

| Рыба | Соотношение рыба: вода |
|---|---|
| | для цистерн и контейнерных установок с принудительной аэрацией воды |
| Амур, карп, сазан, сом, угорь | 1:1,25 |
| Карась, линь | 1:1 |
| Форель, судак | 1:5 |
| Белоглазка, лещ, синец, толстолобик, щука, язь и другие пресноводные рыбы | 1:2 |
| Осетровые породы | 1:4 |
| Морские рыбы | 1:10 |

Достижение высокой энергоэффективности поддержания оптимальных микроклиматических условий обеспечивается за счет применения пористых теплоизоляционных материалов, таких как пенополистирол. С целью облегчения обслуживания и повышения долговечности конструкции внутренняя отделка стен и крыши выполнена из алюминиевых листов. Обеспечение и поддержание необходимой температуры осуществляется с помощью климатической установки или посредством использования льда в специально предназначенных для этого карманах [7].

Перевозка живой рыбы зачастую требует зна-

чительного времени и живорыбные вагоны (рис.1) должны обеспечивать не только контроль температуры, но и поддержание высокого качества воды. В случае недостатка кислорода во время стоянок производится замена воды, когда маневровый локомотив перемещает вагон на запасные пути. При длительных перевозках вода в баках должна меняться ежедневно [8].

Не рекомендуется пользоваться для этой цели хлорированной водой из городских водопроводов и из глубоких артезианских колодцев, в которых она обеднена кислородом.



Рис.1 – Живорыбный вагон типа В-20
Fig.1 – Vivacious carriage type B-20

Результаты исследований и их обсуждение

Для оптимизации затрат на воду, минимизации технических остановок и привлечения персонала станций предлагается интегрирование мобильных очистных установок в живорыбные вагоны, что позволит использовать вагоны не только как тару для рыбы, но и как установки замкнутого водоснабжения (УЗВ), что сократит естественную убыль и повысит качество продукции.

Традиционная установка для обогащения воды кислородом в живорыбных вагонах представляет собой трубы с форсунками на высоте 1 метр над краями баков с водой. Вода забирается насосами, подается по трубопроводам к форсункам, распыляется и, обогащенная кислородом, возвращается в бак. Производительность системы подразумевается как оборот всего объема воды емкостей за

1 час. Помимо обогащения кислородом, вода освобождается от углекислого газа и насыщается озоном из воздуха, благоприятно влияющим на условия перевозки рыбы. Для нужд обогащения кислородом возможно использование воздуходувки биофильтра, что является более прогрессивным с точки зрения наиболее желательного режима насыщения, позволяет отказаться от громоздких конструкций распыления воды и дополнительного насосного оборудования, но, тем не менее, форсуночная система аэрации совместно с воздушной климатической установкой значительно эффективнее обеспечивает температурный режим [9, 10].

Предлагается следующая конструкция модульного биофильтра (рис. 2,3).

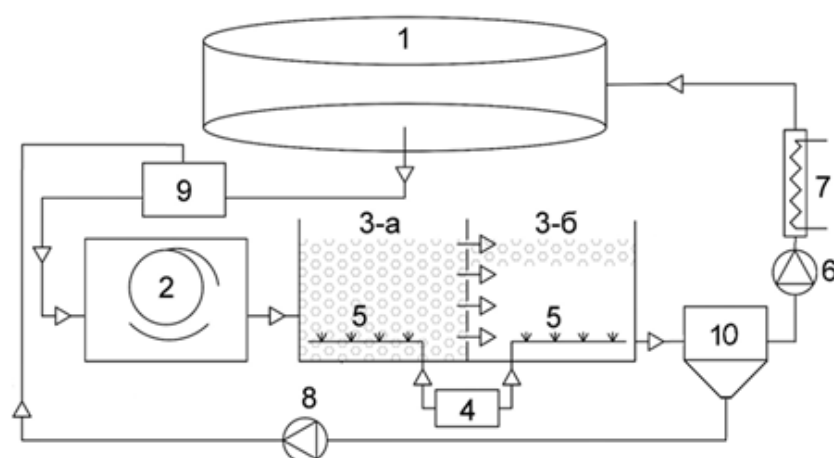


Рис. 2 – Схема системы очистки оборотных сточных вод по принципу установок замкнутого водоснабжения
1 – бассейны с рыбой; 2 – механический фильтр барабанного типа; 3 – биофильтр (а – статическая загрузка, б – плавающая

загрузка); 4 – воздуходувка; 5 – подача воздуха через диспергаторы; 6,8 – циркуляционные насосы; 7 – теплообменник; 9 – узел денитрификации; 10 – отстойник с заборником активного ила.
Fig. 2 – The scheme of treatment of recycled wastewater
1 – fish pools; 2 – drum-type mechanical filter; 3 – biofilter (a – static loading, b – floating loading); 4 – blower; 5 – air supply through dispersers; 6,8 – circulation pumps; 7 – heat exchanger; 9 – denitrification unit; 10 – sedimentation tank with active sludge intake.

Сточная вода из емкостей с рыбой проходит предварительную очистку от твердых частиц и части продуктов жизнедеятельности в механическом фильтре барабанного типа. После механической очистки следует биофильтр из двух секций – со статической нагрузкой в количестве 80 % от объема первой секции и с плавающей во второй секции. Для окисления биологических загрязнений и альгобактериальной смеси воздуходувкой 4 подается воздух через диспергаторы 5.

Для повышения качества оборотных сточных вод предлагается дополнительно установить от-

стойник. Сточные воды будут забираться циркуляционным насосом 6 для подачи в бассейны с рыбой, а осевший активный ил будет забираться циркуляционным насосом 8 в узел денитрификации. Для поддержания требуемой температуры воды перед подачей сточных вод в емкости предусмотрен теплообменник 7.

Выполнением оценки качества оборотных сточных вод (табл. 2) установлено, что предлагаемые мероприятия позволят снизить биологическое потребление кислорода на 5 %, а химическое потребление кислорода на 50 %. Недостаточная



эффективность этой системы обусловлена недостаточным или отсутствующим освещением; система непригодна для обеспечения условий интенсивного рыборазведения, но способна поддерживать качество водной среды, необходимое для транспортировки живой рыбы на большие расстояния. В качестве мер по интенсификации процесса развития аэробных микроорганизмов предлагается внедрить элементы искусственно-

го освещения. В процессе эксплуатации панели светового излучения, погруженные в емкость биофильтра, покрываются активным илом и обрастают им. Предлагается подавать сжатый воздух с целью очистки поверхностей элементов освещения, тем самым осуществляя и аэрацию оборотных сточных вод. Конструкция элементов освещения и аэрации представлена рисунке 4.

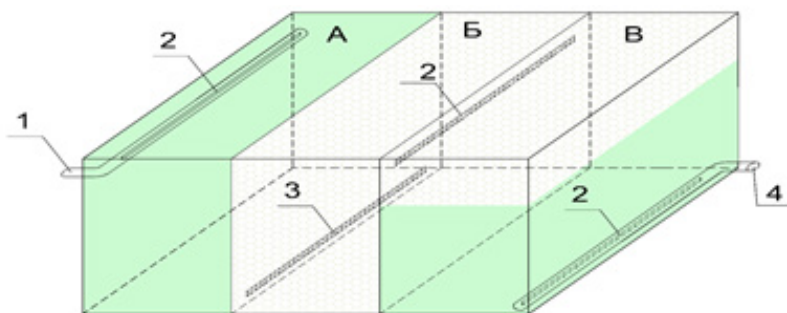


Рис. 3 – Модульный фильтр биологической очистки

А – денитрификатор; Б – 1-я ступень биофильтра со статичной загрузкой; В – 2-я ступень биофильтра с плавающей загрузкой; 1 – падающая магистраль сточных вод в денитрификатор, d50мм.; 2 – щель h=2см; 3 – перепускная щель h=4см с защитной сеткой ячейкой 1см;

4 – отводящая магистраль d50мм, с защитной сеткой ячейкой 1см.

Fig.3 – Modular biological purification filter, where
A – denitrifier; B – 1-t stage of biofilter with static load; C – 2-nd stage of biofilter with floating loading; 1 – falling sewage main into denitrifier, d50mm.; 2 – gap h =2 cm; 3 – bypass gap h=4 cm with a protective mesh cell 1 cm.; 4 – discharge line 50 mm., with a protective mesh of 1 cm.

Таблица 2 – Основные показатели качества оборотных сточных вод предлагаемой установки на выходе из емкостей с рыбой, после фильтра биологической очистки и денитрификации

| № | Участок за-бора воды | ХПК, мгО/л | O ₂ , мг/л | NH ₄ ⁺ , мг/л | NO ₂ ⁻ , мг/л | NO ₃ ⁻ , мг/л | PO ₄ ³⁻ , мг/л | БПК, мгО ₂ /л | В.В., мг/л |
|---|------------------------|------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------|
| 1 | После емкостей с рыбой | 860,0 | 5,4 | 0,420 | 0,87 | 158,0 | 9,1 | 80,0 | 99,5 |
| 2 | После биофиль-тра | 430,0 | 5,6 | 0,050 | 0,15 | 142,0 | 8,7 | 76,0 | 58,5 |
| 3 | После дени-трификации | 94,0 | 3,6 | 0,050 | 0,18 | 95,0 | - | - | - |

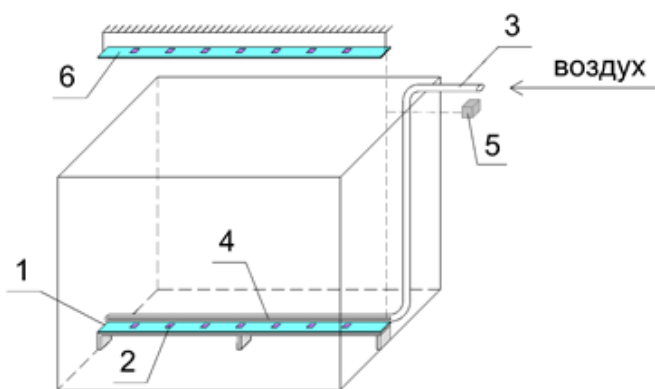


Рис. 4 – Вторая ступень биофильтра с плавающей загрузкой с искусственным освещением и аэрацией
1 – панель со светодиодами;

2 – светодиодный элемент;
3 – магистраль подачи воздуха;
4 – щелевой воздухораспределитель h=2мм.; 5 – источник питания 12В;
6 – светодиодное освещение

Fig. 4 – The second stage of a floating biofilter with artificial lighting and aeration
1 – panel with LEDs; 2 – LED element; 3 – air supply line; 4 – slot air distributor h = 2mm.; 5 – 12V power supply; 6 –LED lighting

Закключение

Интегрируя узел денитрификации в технологическую схему функционирующей биологической очистки оборотных вод рыбоводческого хозяйства, получили положительные результаты – снижение

ХПК по отношению к исходным концентрациям на 90 % и нитратов на 40 %, что демонстрирует высокую эффективность. Таким образом, интеграция мобильных очистных установок в живорыбные вагоны является перспективным вектором развития



железнодорожных перевозок, а именно, позволит реализовывать рыбную продукцию отличного товарного качества и с логистикой в более короткие сроки.

Список источников

1. Ворон, О. А. Методология развития инновационного изотермического подвижного состава в транспортной системе страны : специальность 05.22.07 "Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ворон Олег Андреевич, 2022. – 401 с. – EDN SWBYWJ;
2. Грузовой изотермический контейнер для перевозки и длительного хранения скоропортящихся грузов / В. И. Моисеев, Т. А. Комарова, О. А. Ворон, А. В. Жебанов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 12. – С. 297-302. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-12-297-298. – EDN XYMOFG;
3. Корольков, Б. П. Доставка скоропортящихся грузов: технологии и теплоэнергетика : Монография / Б. П. Корольков, А. В. Комаров. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 197 с. – ISBN 978-5-4497-2075-7. – EDN UTTQKW;
4. Ворон, О. А. Проблемы транспортной инфраструктуры при транспортировке рыбы в современных условиях / О. А. Ворон, Ю. П. Булавин, В. В. Ширококов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3. – С. 24-32. – EDN XHDGYB;
5. Иголина, И. Н. Современные требования технического регламента ТР ЕАЭС 040/2016 к

перевозкам и государственный контроль (надзор) рыбной продукции / И. Н. Иголина, О. И. Кутина, Е. С. Беломытцева // Труды ВНИРО. – 2019. – Т. 176. – С. 145-151. – EDN FQUZMG;

6. Митюшкин, В. Контейнер для перевозки посадочного материала / В. Митюшкин, Г. Толчинский // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2006. – № 7. – С. 53-54. – EDN ZFBDHX.

7. Ворон, О. А. Особенности конструкции универсального кузова для инновационных изотермических вагонов / О. А. Ворон // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 8(105). – С. 77-86. – DOI 10.30987/1999-8775-2021-8-77-86. – EDN SOIACU;

8. Уголков, С. В. Особенности организации перевозки живой рыбы / С. В. Уголков // Системный анализ и логистика. – 2019. – № 3(21). – С. 45-53. – EDN HUWAQM.

9. Substantiation of reducing gas emissions from industrial wastewater treatment plants of a fish plant / N. Bondarenko, N. Kondakova, N. Serpokyrov, S. Starovoitov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21 июня 2021 года. – Ussurijsk, 2021. – P. 042059. – DOI 10.1088/1755-1315/937/4/042059. – EDN KQAQEX;

10. Старовойтов, С. В. Обоснование параметров установки очистки вод рыбоводческих предприятий : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Старовойтов Сергей Вадимович, 2019. – 155 с. – EDN MPXWZY.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Voron, O. A. Methodology for the development of innovative isothermal rolling stock in the country's transport system : specialty 05.22.07 "Railway rolling stock, train traction and electrification" : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Voron Oleg Andreevich, 2022. – 401 p. – EDN SWBYWJ;
2. Cargo isothermal container for transportation and long-term storage of perishable goods / V. I. Moiseev, T. A. Komarova, O. A. Raven, A. V. Zhebanov // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. – 2024. – No. 12. – PP. 297-302. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-12-297-298. – EDN XYMFG;
3. Korolkov, B. P. Delivery of perishable goods: technologies and thermal power engineering : A monograph / B. P. Korolkov, A. V. Komarov. – Moscow : AI Art Media, 2023. – 197 p. – ISBN 978-5-4497-2075-7. – EDN UTTQKW;
4. Raven, O. A. Problems of transport infrastructure during fish transportation in modern conditions / O. A. Raven, Y. P. Bulavin, V. V. Shirobokov // Proceedings of the Rostov State University of Communications. – 2016. – No. 3. – pp. 24-32. – EDN XHDGYB;
5. Igonina, I. N. Modern requirements of the technical regulations of the EAEU TR 040/2016 for transportation and state control (supervision) of fish products / I. N. Igonina, O. I. Kutina, E. S. Belomytseva // Proceedings of VNIRO. – 2019. – Vol. 176. – pp. 145-151. – EDN FQUZMG;
6. Mityushkin, V. Container for transportation of planting material / V. Mityushkin, G. Tolchinsky // Fish farming and fisheries. – 2006. – No. 7. – pp. 53-54. – EDN ZFBDHX.
7. Voron, O. A. Design features of a universal body for innovative insulated wagons / O. A. Voron // Bulletin of the Bryansk State Technical University. – 2021. – № 8(105). – Pp. 77-86. – DOI 10.30987/1999-8775-2021-8-77-86. – EDN SOIACU;
8. Ugolkov, S. V. Features of the organization of transportation of live fish / S. V. Ugolkov // System analysis and logistics. – 2019. – № 3(21). – Pp. 45-53. – EDN HUWAQM.
9. Substantiation of reducing gas emissions from industrial wastewater treatment plants of a fish plant / N. Bondarenko, N. Kondakova, N. Serpokyrov, S. Starovoitov // IOP Conference Series: Earth and



Environmental Science, Ussurijsk, June 20-21, 2021. – Ussurijsk, 2021. – P. 042059. – DOI 10.1088/1755-1315/937/4/042059. – EDN KQAQEX.;

10. Starovoytov, S. V. Substantiation of the parameters of the water purification plant of fish farming

enterprises : specialty 05.20.01 "Technologies and means of agricultural mechanization" : dissertation for the degree of candidate of Technical Sciences / Starovoytov Sergey Vadimovich, 2019. 155 p. – EDN MPXWZY.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Сергей Вадимович Старовойтов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика на ж/д транспорте», ФГБОУ ВО Ростовский государственный университет путей сообщения, se.starovoytov@yandex.ru

Надежда Валерьевна Кондакова, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, nkondakova@donstu.ru

Иван Алексеевич Успенский, академик, д-р техн. наук, профессор кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, ivan.uspenskij@ya.ru

Адик Викторович Онкаев, ассистент кафедры строительства, технологии и дизайна, ФГБОУ ВО Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова, onkaev.adik08@yandex.ru

Елена Евгеньевна Щуцкая, канд. техн. наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, elenashuk71@mail.ru

Author information

Starovoytov Sergey V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Thermal Power Engineering on railway Transport", Rostov State Transport University, se.starovoytov@yandex.ru

Kondakova Nadezhda V., Associate Professor of the Department "Water Supply and Sanitation", Don State Technion University, nkondakova@donstu.ru

Uspensky Ivan A., Academician, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Technical Operation of Transport", Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev, ivan.uspenskij@ya.ru

Onkaev Adik V., Assistant Professor of the Department of Construction, Technology and Design, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University, onkaev.adik08@yandex.ru

Shchutskaya Elena E., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Water Supply and Sanitation", Don state technical university, elenashuk71@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26.09.2025; одобрена после рецензирования 30.10.2025.; принята к публикации. 15.12.2025

The article was submitted 26.09.2025; approved after reviewing 30.10. 2025; accepted for publication 15.12.2025





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 621.431.7.015.3:532.69
DOI: 10.36508/RSATU.2025.90.80.024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНО-ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ДВИГАТЕЛЯХ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Иван Васильевич Фадеев

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И. Я. Яковлева»,
г. Чебоксары, Россия

ivan-fadeev-2012@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Несмотря на развитие альтернативных транспортных технологий, двигатели внутреннего сгорания (ДВС), особенно дизельные, по-прежнему доминируют в коммерческом и тяжёлом транспорте. В условиях ужесточения экологических стандартов актуальной задачей становится снижение выбросов оксидов азота (NO_x) и сажи без кардинальной модернизации конструкции ДВС. Целью работы является комплексный анализ влияния водно-топливных эмульсий (ВТЭ) на рабочие процессы, экологические и экономические показатели современных автомобильных двигателей.

Методология. Исследование основано на систематизации фундаментальных и прикладных работ отечественных (школы В. И. Крутова, Г. В. Розловского, Л. А. Кришера, В. В. Осьминкина) и зарубежных (школы J.C. Lasheras, C.K. Law, Masahiko Ishikawa) учёных (американские и японские школы). Особое внимание уделено физическим механизмам, лежащим в основе улучшения процесса сгорания при использовании ВТЭ – эффекту «микровзрыва» (теория Я.Б. Зельдовича) и снижению температуры сгорания за счёт присутствия воды.

Результат. Установлено, что применение ВТЭ позволяет снизить выбросы NO_x на 20-50 % и сажи на 30-80 %. Удельный расход топлива при этом сохраняется на базовом уровне или незначительно снижается (до 3-5 %) на номинальных режимах. Рассмотрено влияние ВТЭ на экономичность, надёжность и износ двигателей, а также современные тенденции: интеграция с системами очистки выхлопных газов, использование биотоплива, разработка «умных» бортовых эмульгаторов и цифровых моделей рабочего процесса.

Заключение. Технология ВТЭ особенно эффективна для дизельных двигателей и может стать важным элементом гибридных систем снижения токсичности выхлопных газов в условиях перехода к экологически ориентированной транспортной парадигме.

Ключевые слова: водно-топливные эмульсии, микровзрыв, снижение выбросов, дизельный двигатель, экологичность, смесеобразование, температура сгорания

Для цитирования: Фадеев И.В. Использование водно-топливных эмульсий в двигателях современных автомобилей // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т17, №4. С. 189-197 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.90.80.024>

Original article

USING WATER-FUEL EMULSIONS IN MODERN CAR ENGINES

Ivan V. Fadeev

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev", Cheboksary, Russia

ivan-fadeev-2012@mail.ru

Abstract.

Problem and Objective. Despite the development of alternative transportation technologies, internal combustion engines (ICEs), especially diesel engines, continue to dominate commercial and heavy-duty vehicles. In the face of increasingly stringent environmental standards, reducing nitrogen oxide (NO_x) and soot emissions without radically redesigning the ICE has become a pressing issue. The aim of this study is to comprehensively analyze the impact of water-fuel emulsions (WFEs) on the operating processes, environmental performance,



and economics of modern automotive engines.

Methodology. The study is based on a systematization of fundamental and applied works by Russian (schools of V.I. Krutov, G.V. Rozlovsky, L.A. Krisher, V.V. Osminkin) and international (schools of J.C. Lasheras, C.K. Law, Masahiko Ishikawa) scientists (American and Japanese schools). Particular attention is paid to the physical mechanisms underlying the improved combustion process using WTE – the "microexplosion" effect (the theory of Ya.B. Zeldovich) and the reduction in combustion temperature due to the presence of water.

Results. It was found that the use of WTE reduces NO_x emissions by 20-50% and soot by 30-80%. Specific fuel consumption remains at the baseline level or decreases slightly (by 3-5%) at nominal operating conditions. The impact of water-fuel emulsions on engine efficiency, reliability, and wear is examined, as well as current trends such as integration with exhaust gas treatment systems, the use of biofuels, and the development of smart onboard emulsifiers and digital operating models.

Conclusion. Water-fuel emulsion technology is particularly effective for diesel engines and can become an important element of hybrid exhaust emission reduction systems as we transition to an environmentally friendly transportation paradigm.

Key words: water-fuel emulsions, microexplosion, emission reduction, diesel engine, environmental friendliness, mixture formation, combustion temperature

For citation: Fadeev, I.V., Using water-fuel emulsions in modern car engines //Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 4. P. 189-197 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.90.80.024>

Введение

Современная автомобильная промышленность находится в состоянии глубокой трансформации, вызванной ужесточением экологических норм и глобальным трендом на декарбонизацию транспорта [1, 2]. Несмотря на активное развитие электромобилей и водородных технологий, двигатели внутреннего сгорания (ДВС), особенно в сегменте коммерческого и тяжелого транспорта, останутся значимой частью мировой транспортной системы в обозримой перспективе [3, 4]. В этой связи поиск технологий, позволяющих существенно снизить негативное воздействие ДВС на окружающую среду (ОС) без кардинальной переделки конструкции, является чрезвычайно актуальной научно-технической задачей.

Одной из таких технологий является использование водно-топливных эмульсий (ВТЭ) – гетерогенных систем, в которых вода диспергирована в виде мельчайших капель в непрерывной углеводородной фазе [1, 3]. Исследования в этой области ведутся десятилетиями, однако именно сегодня, с появлением новых методов диспергирования и стабилизации, а также с развитием систем впрыска высокого давления, данная технология получает новый импульс для практической реализации [1, 4].

Целью данной работы является комплексный анализ влияния водно-топливных эмульсий на рабочие процессы, экологические и экономические показатели современных автомобильных ДВС.

Материалы и методы исследования

Исследование носит аналитический и обзорный характер и основано на систематизации и критическом анализе фундаментальных и прикладных работ отечественных и зарубежных учёных, посвящённых физике горения водно-топливных эмульсий. Используются данные экспериментальных исследований (в том числе с применением высокоскоростной визуализации, стендовых испытаний двигателей, метода подвешенной капли), теоретические модели процессов испарения и микровзрыва, а также результаты современного

численного моделирования рабочих процессов в цилиндрах ДВС. Анализ охватывает как исторический аспект развития технологии, так и современные инженерные подходы, включая интеграцию ВТЭ с системами нейтрализации отработавших газов и цифровыми методами оптимизации.

Результаты исследования

Ключевым преимуществом ВТЭ является модификация процесса сгорания, которая достигается за счет двух основных физических эффектов: эффекта «микровзрыва» и снижения температуры сгорания [1].

Эффект «микровзрыва» был впервые детально описан и объяснен выдающимся советским физиком-теоретиком, академиком, трижды Героем Социалистического Труда Яковом Борисовичем Зельдовичем в 1948 году в работе [5]. Хотя он более известен своими работами в области ядерной физики, физики горения и космологии, именно он дал фундаментальное теоретическое описание этого явления.

В этой работе Зельдович теоретически предсказал и обосновал механизм взрывного вскипания неоднородной капли, когда более легкокипящий компонент (вода) оказывается заключен внутри оболочки из менее летучего компонента (топливо). При нагреве внутренний компонент перегревается, происходит резкое испарение, его давление резко возрастает, что приводит к взрывному разрушению оболочки капли на более мелкие фрагменты. Этот процесс, получивший название «микровзрыв», интенсифицирует испарение топлива и улучшает смесеобразование, что способствует более полному и гомогенному сгоранию [5]. Улучшение смесеобразования за счет эффекта «микровзрыва» приводит к уменьшению локальных переобогащенных зон в факеле распыла, которые являются основными очагами образования сажи. Более гомогенное сгорание снижает выход твердых частиц на 30-60 % [1]. Важно отметить, что часто наблюдается одновременное снижение и NO_x , и сажи, что является сложной задачей для традиционных методов оптимизации ДВС.



Существенная разница в температурах кипения дизельного топлива и воды является фундаментальной физической предпосылкой для эффективного протекания явления «микровзрыва» в водно-топливных эмульсиях на основе дизеля. Для бензина этот эффект выражен значительно слабее, что делает технологию ВТЭ менее применимой для бензиновых двигателей.

1970-е годы характеризуются как период активной экспериментальной проверки и внедрения этой теории применительно именно к ВТЭ. В 70-80-е годы XX столетия, на фоне топливного кризиса и роста внимания к экологии, начался бум исследований по использованию ВТЭ по всему миру.

Действительно, после теоретического предсказания Зельдовича, экспериментальный прорыв произошел именно в 1970-х годах, и значительная заслуга в этом принадлежит советским научным школам.

Советские ученые делали акцент на фундаментальных исследованиях физики процесса и прикладных разработках для дизелей.

Одной из самых влиятельных советских школ в области исследования ВТЭ является школа Виталия Ивановича Крутова (МВТУ им. Баумана), где детально изучалась кинетика испарения и взрываемости многокомпонентных капель, разрабатывались модели процесса «микровзрыва». Работы школы были сфокусированы на связи дисперсного состава эмульсии (размера капель воды) и интенсивности протекания явления «микровзрыва». Исследования проводились по ключевым темам: определение оптимального содержания воды (10-20 %), влияние эмульгаторов на стабильность и характер горения, экспериментальное подтверждение снижения дымности и NO_x в реальных дизелях [6, 7].

Геннадий Владимирович Розловский и Лидия Александровна Кришер из Института теплофизики СО АН СССР (Новосибирск) являются одними из ключевых фигур в области экспериментального и теоретического исследования процесса «микровзрыва» капель топлива и ВТЭ.

Их работы по таким ключевым темам как исследование порога перегрева воды в топливной оболочке, влияние вязкости и поверхностного натяжения топлива на динамику разрушения капли, проводившиеся в 1970-1980-х годах, считаются классическими и до сих пор цитируются в мировой научной литературе. Они проводили фундаментальные исследования с использованием прецизионных методов, таких как подвешивание одиночной капли в потоке горячего газа, что позволяло изучать кинетику испарения и разрушения капель в «чистых» условиях. Их работы подтвердили двухстадийный процесс: нагрев - перегрев воды - взрывное вскипание [8, 9, 10].

Такие ученые как Евгений Николаевич Соколов, Николай Васильевич Агафонов, Виктор Федорович Соколик вместе представляли собой полноценный научно-технический цикл: Соколик давал фундаментальное понимание процессов [11], Соколов обобщал данные и разрабатывал технологические решения [12], а Агафонов прово-

дил «обкатку» этих решений в конкретных двигателях и установках, доказывая их эффективность на практике [13].

Эта группа исследователей представляла в основном прикладное направление в советской школе изучения ВТЭ. Если Г. В. Розловский и Л. А. Кришер занимались фундаментальной физикой процесса на одиночных каплях, то Соколов, Агафонов и Соколик фокусировались на внедрении технологии в реальные энергетические установки и двигатели.

Их работы были тесно связаны с Всесоюзным научно-исследовательским институтом по переработке нефти (ВНИИ НП) и другими отраслевыми институтами и направлены на создание эффективных эмульгаторов и стабилизаторов для ВТЭ, а также на исследование влияния «микровзрыва» на процесс смесеобразования в камере сгорания различной конфигурации.

В этот период значительный вклад в экспериментальное подтверждение и исследование эффекта «микровзрыва» для эмульсий внесли американские ученые: J.C. Lasheras и его коллеги (Калифорнийский университет, Сан-Диего, США), C.K. Law и его научная группа (Северо-Западный университет, США) и другие.

J.C. Lasheras и C.K. Law являются ключевыми фигурами в мировой истории исследования «микровзрыва» и горения эмульсий. Их заслуги, особенно в 1980-1990-е годы, заключаются в том, что они перевели качественные описания этого явления на язык количественной физики и дали им строгое теоретическое и экспериментальное обоснование.

Школа J.C. Lasheras сосредоточилась на экспериментальной гидродинамике и визуализации процессов, происходящих с каплями и факелами распыла. Были получены первые высокоскоростные видеозаписи, наглядно демонстрирующие взрывное разрушение капель ВТЭ в камерах сгорания [14], что окончательно подтвердило теорию Зельдовича.

Группа профессора C.K. Law сделала гигантский вклад в теоретическое и численное моделирование процесса, создав строгие математические модели, описывающие «микровзрыв» [15, 16].

Вместе работы J.C. Lasheras и C.K. Law создали замкнутый цикл познания: C.K. Law предоставил глубокое теоретическое понимание и прогноз, а J.C. Lasheras экспериментально подтвердил эти теории в условиях, максимально приближенных к практическим. Их совместный вклад превратил «микровзрыв» из интересного физического явления в обоснованный инструмент для инженеров, проектирующих экологически чистые системы сгорания.

Японские исследования были сильно мотивированы острой экологической проблемой в крупных городах и необходимостью снижения выбросов от дизельного транспорта.

Работы Masahiko Ishikawa и его коллег (университет Токио) считаются классическими и часто цитируются в международной литературе. В конце 1970-х–начале 1980-х годов они провели



серию наглядных экспериментов с использованием высокоскоростной съемки (фотографии Шлирена и теневая фотография), которые впервые визуализировали процесс «микровзрыва» не для одиночной капли, а для реального топливного факела, впрыснутого в камеру сгорания [17]. Визуально подтвердили, что «микровзрыв» приводит к резкому вторичному распылению факела и его интенсивному перемешиванию с воздухом, количественно оценили сокращение длины факела и улучшение испарения [18].

Takeo Takahashi и его школа (компания «Mitsubishi Motors») проводили промышленные исследования, были пионерами в доведении технологии до практического применения. Они сосредоточились на создании бортовых систем приготовления эмульсии, которые решали проблему стабильности ВТЭ при хранении [19]. Их патенты и разработки легли в основу первых коммерческих испытаний.

Hiroyuki Hirano и группа (компания «Nissan Motor») также активно занимались прикладными аспектами. В основном группа исследовала комплексное влияние ВТЭ на мощность, экономичность и токсичность двигателей, включая не только NO_x и сажу, но и несгоревшие углеводороды [20].

Вторым основным физическим эффектом, за счет которого происходит модификация процесса сгорания ВТЭ, является снижение температуры сгорания.

Присутствие воды в топливной смеси приводит к увеличению теплоемкости топливно-воздушного заряда. Кроме того, часть тепловой энергии затрачивается на парообразование воды. Совместное действие этих факторов приводит к существенному снижению пиковых температур в цилиндре ДВС. Именно этот эффект является основной причиной снижения образования оксидов азота (NO_x), так как их образование имеет термическую природу и сильно зависит от максимальной температуры цикла [1].

Экспериментальные исследования, подтверждающие устойчивое снижение токсичности отработавших газов (ОГ) при использовании ВТЭ, проводились многими научными коллективами как в России/СССР, так и за рубежом.

Ученые Центрального научно-исследовательского дизельного института (ЦНИДИ) Виктор Иванович Крюков, Лев Абрамович Гимаев, Юрий Васильевич Турко в 1970-1980-х годах провели масштабные исследования на стендах с дизелями типа ЯМЗ-238 и др., экспериментально подтвердили устойчивую тенденцию к снижению основных токсичных компонентов: NO_x на 20-40 % и сажи (дымности) на 30-70 % [21]. Они детально исследовали влияние качества эмульсии (дисперсность, стабильность) на эффективность снижения выбросов [22], изучили и доказали возможность длительной эксплуатации дизелей на ВТЭ без критического увеличения износа при условии применения корректирующих присадок и правильной организации процесса [23].

Их работы имели ярко выраженную прикладную направленность, легли в основу многих тех-

нических решений и показали принципиальную возможность и эффективность применения ВТЭ в транспортных и энергетических дизелях.

Ученые Московского автомобильно-дорожного института (МАДИ) Алексей Семенович Макаров, Вадим Александрович Марков, Сергей Николаевич Гаврилов внесли значительный вклад в исследование ВТЭ, особенно применительно к автомобильным двигателям. Исследования имели комплексный характер, было изучено влияние ВТЭ не только на экологию (снижение NO_x на 15-35 %, сажи на 40-60 %) [24], но и на экономичность [25], износ и надежность топливной аппаратуры [26]. Подчеркивали, что ключевым фактором эффективного и безопасного применения ВТЭ является использование стабильных эмульсий, полученных на современных гомогенизаторах, и применение специальных эмульгаторов-стабилизаторов. Проводили испытания не только на стендовых двигателях, но и на полноразмерных автомобильных дизелях (ЯМЗ, КамАЗ), моделируя различные ездовые циклы. Экспериментально и теоретически обосновали роль явления «микровзрывного» распада капель эмульсии в улучшении смесеобразования и интенсификации сгорания, что является основной причиной снижения токсичности.

Работы этой научной школы МАДИ являются теоретической и практической базой для современных исследований в области применения ВТЭ в России.

В отличие от многих других коллективов, которые фокусировались на интегральных показателях двигателя (мощность, токсичность), ученые под руководством Владимира Васильевича Осминкина научно-исследовательского института двигателей (НИИД, Санкт-Петербург) изучали фундаментальные физические процессы на микроуровне при сгорании ВТЭ, внесли фундаментальный вклад в понимание физики этих процессов [27].

Работы этой научной школы были сфокусированы на глубоком экспериментальном и теоретическом исследовании механизмов распыливания, испарения и горения капель эмульсии. Коллектив специализировался на физике процесса сгорания ВТЭ. С помощью высокоскоростной киносъемки и других методов визуализации проводили уникальные эксперименты с высокой временной разрешающей способностью [28], подтвердили теорию «микровзрывов» капель эмульсии, которая является главной причиной улучшения смесеобразования и, как следствие, снижения токсичности. Было детально изучено, как происходит нагрев, кипение и диспергирование капли эмульсии, и как на это влияет концентрация и дисперсность воды. Школа смогла количественно связать параметры эмульсии (размер капель воды, стабильность) с макроскопическими характеристиками двигателя (индикаторная диаграмма, выбросы NO_x и сажи). Была разработана математическая модель рабочего процесса дизеля, работающего на ВТЭ, ключевым элементом которой является описание вторичного распада капель («микровзрыва»), что позволяет с высокой точностью прогнозировать снижение температуры и, как следствие, выбросов оксидов азота [29].



Таким образом, работы ученых НИИД под руководством Владимира Васильевича Осьминкина предоставляют физическое обоснование для экспериментальных данных, полученных в ЦНИДИ, МАДИ и других институтах, заложив теоретический фундамент для технологии применения ТВЭ.

Наиболее видными зарубежными исследователями снижения токсичности ОГ при использовании ТВЭ в ДВС являются John Benjamin Heywood (профессор Массачусетского технологического института, США), George A. Simons (компания Aerodyne Research, США), Hiroshi Tsukamoto (Япония), которые провели фундаментальные и прикладные исследования процессов сгорания, включая использование топлив с добавками воды (в виде эмульсий или прямого впрыска) [30]. Они детально описали механизм «микровзрыва» при испарении многокомпонентных капель [31], показали, что добавление воды в топливо (в виде эмульсии или прямого впрыска) является одним из самых эффективных способов борьбы с NO_x без катализаторов [32], обобщили данные, указав на снижение NO_x до 50 % и сажи до 50-80 % в зависимости от способа подачи воды и типа двигателя [33].

Влияние водотопливных эмульсий (ВТЭ) на удельный расход топлива (УРТ) – это один из самых дискуссионных и изучаемых аспектов данной технологии. Результаты сильно зависят от типа двигателя, режима работы, качества эмульсии и способа её подачи. С одной стороны, наличие негорючего компонента (воды) снижает удельную теплоту сгорания топливной смеси. Это могло бы привести к увеличению расхода. С другой стороны, более полное и эффективное сгорание, улучшенное смесеобразование и снижение теплоотдачи в стенки цилиндра (из-за меньшей температуры) могут компенсировать эту потерю и даже привести к экономии. В большинстве исследований отмечается незначительное изменение ($\pm 2-3$ %) либо небольшое улучшение топливной экономичности (до 5 %) на отдельных режимах, особенно для дизельных двигателей [1].

Большинство исследователей (Марков Вадим Александрович (МАДИ) [34], Крюков Виктор Иванович (ЦНИДИ) [35], Осьминкин Владимир Васильевич (НИИД) [36], John B. Heywood (MIT, США) [30], Hiroshi Tsukamoto (Япония) [37], M. Abu-Zaid (Иордания) [38] и многие другие) сходятся во мнении, что при правильном применении ТВЭ (оптимизированная эмульсия, скорректированные углы впрыска) УРТ дизеля остается примерно на том же уровне, что и при использовании традиционного топлива, либо незначительно улучшается (до 3-5 %) на номинальных режимах. На частичных нагрузках возможен небольшой рост УРТ. Значительное ухудшение экономичности обычно свидетельствует о неоптимальной организации процесса.

Для бензиновых эмульсий ситуация сложнее. Поскольку бензин начинает кипеть при температурах, близких к температуре кипения воды ($35-205^\circ\text{C}$), внешняя топливная оболочка может начать интенсивно испаряться сама по себе, не успевая создать условия для перегрева и «ми-

кровзрыва» водяной капли. Это одна из причин, почему технология ТВЭ более распространена и эффективна для дизельных двигателей [1].

Современные исследования (2020-2025 г.г.) в области использования ТВЭ сместились с фундаментального доказательства работоспособности концепции на решение конкретных инженерных задач и интеграцию технологии в контекст новых экологических вызовов и альтернативных видов топлива.

Ключевыми направлениями и тенденциями современных исследований в области использования ТВЭ являются:

1. Интеграция с системами нейтрализации выхлопных газов. Использование ТВЭ не заменяет, а дополняет существующие системы очистки ОГ.

2. Совместимость с альтернативными топливами и биотопливами. Изучаются эмульсии на основе биотоплива и воды, также рассматриваются ТВЭ на основе электротоплива, где вода может дополнительно снизить углеродный след и стоимость.

3. Умные бортовые системы. Отказ от стабильных при хранении эмульсий в пользу систем, готовящих смесь «по требованию», например, создание компактных и надежных ультразвуковых или гидродинамических эмульгаторов, интегрированных в топливную систему.

4. Углубленное моделирование и цифровые двойники.

Благодаря развитию вычислительной техники исследования перешли на новый уровень.

Создаются высокоточные 3D-модели процессов впрыска, распыла и сгорания ТВЭ в реальных камерах сгорания. Модели учитывают не просто «микровзрыв», а его влияние на турбулентность, смесеобразование и химические реакции. Они позволяют не просто констатировать факт снижения выбросов, а понять и оптимизировать физические механизмы, стоящие за этим улучшением, ускоряя разработку более чистых и эффективных двигателей.

Искусственный интеллект используется для оптимизации состава эмульсии (размер капель воды, тип эмульгатора) и управления системой впрыска в реальном времени для достижения наилучшего баланса между мощностью, экономичностью и экологичностью.

5. Новые стабилизаторы и нанодобавки.

Разрабатываются новые поколения ПАВ на биологической основе, которые не токсичны и полностью разлагаются.

Исследуется добавление наночастиц в эмульсию. Они могут выступать как катализаторы горения, способствуя более полному сгоранию сажи, и как дополнительные стабилизаторы, предотвращающие расслоение смеси.

Несмотря на очевидные преимущества, широкое внедрение ТВЭ сдерживается рядом технических проблем:

– стабильность эмульсии. Устойчивость положительного эффекта, как отмечали все исследователи (например, Марков Вадим Александрович (МАДИ)), напрямую зависит от стабильности



самой эмульсии. Если она расслаивается при хранении или в топливной системе, эффект теряется и могут возникнуть негативные последствия. Поэтому ключевое значение имеют технологии и присадки, обеспечивающие стабильность ТВЭ. Для этого применяются поверхностно-активные вещества (ПАВ) и эмульгаторы, которые создают стабилизирующий слой на границе раздела фаз. Однако это увеличивает стоимость топлива и может влиять на другие его свойства.

– коррозия и износ. Наличие воды в ТВЭ повышает риск коррозии элементов топливной системы (топливных насосов высокого давления, форсунок, магистралей).

– пусковые качества. При низких температурах использование ВТЭ может затруднять холодный пуск двигателя.

– инфраструктура. Требуется создание инфраструктуры для производства, хранения и транспортировки стабильных эмульсий непосредственно на АЗС.

Перспективным направлением является не создание стабильных эмульсий для хранения, а их приготовление непосредственно на борту автомобиля (навигационная система создания эмульсии топлива и воды) в требуемом количестве и непосредственно перед впрыском. Это решает проблемы стабильности и инфраструктуры.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что водно-топливные эмульсии представляют собой эффективный инструмент для решения экологических проблем современных ДВС. Технология позволяет добиться значительного одновременного снижения выбросов оксидов азота и сажи, что особенно актуально для дизельных двигателей в условиях ужесточения экологических стандартов.

Дальнейшие исследования должны быть сконцентрированы на разработке высокоэффективных и недорогих эмульгаторов, оптимизации бортовых систем приготовления эмульсий и адаптации алгоритмов управления двигателем для работы на ВТЭ. Комплексное применение данной технологии в сочетании с другими методами (рециркуляция отработавших газов, системы нейтрализации) может стать ключевым фактором в продлении жизненного цикла двигателей внутреннего сгорания в новой, экологически ориентированной транспортной парадигме.

Список литературы

1. Горелик, Г. Б. Водотопливная эмульсия – альтернативное топливо XXI века : монография / Г. Б. Горелик. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. – 202 с.
2. Садетдинов, Ш. В. Повышение коррозионной стойкости углеродистой стали с помощью дипинаконборатных соединений / Ш. В. Садетдинов, Л. Ш. Пестряева, И. В. Фадеев, Д. А. Пестряев // Черные металлы. – 2020. – №11. – С. 40-45.
3. Бышов, Н. В. Разработка нового средства для защиты сельскохозяйственных машин при хранении / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский, И. В. Фадеев // Техника и оборудова-

ние для села. – 2019. – № 6 (264). – С. 38-42.

4. Бышов, Н. В. Изменение контактных углов смачивания при добавлении в моющие растворы поверхностно-активных веществ / Н. В. Бышов, И. А. Успенский, В. В. Алексеев, И. В. Фадеев // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29. – № 2. – С. 295-305.

5. Зельдович, Я. Б. К теории испарения капель жидкости / Я. Б. Зельдович // Журнал технической физики. – 1948. – Т. 18, вып. 1. – С. 3–10.

6. Крутов, В. И. Исследование процесса сгорания водомазутных эмульсий в топках парогенераторов / В. И. Крутов, А. Д. Прохоров, Е. Н. Соколов // Теплоэнергетика. – 1982. – № 8. – С. 54-57.

7. Крутов, В. И. Влияние водотопливных эмульсий на рабочий процесс и токсичность отработавших газов дизеля / В. И. Крутов, Е. Н. Соколов, Н. В. Агафонов // Двигателестроение. – 1983. – № 10. – С. 26-28.

8. Розловский, Г. В. Исследование взрывного вскипания капель водомазутных эмульсий / Г. В. Розловский, Л. А. Кришер // Инженерно-физический журнал. – 1976. – Т. 31, № 4. – С. 615–621.

9. Розловский, Г. В. Кинетика испарения капель эмульсий / Г. В. Розловский, Л. А. Кришер // Теплофизика и теплоэнергетика: сб. науч. тр. – Новосибирск, 1977. – С. 78–85.

10. Розловский, Г. В. Экспериментальное исследование нагрева и взрывного распада капель, содержащих включения легкокипящей жидкости / Г. В. Розловский, Л. А. Кришер // Физика горения и взрыва. – 1978. – Т. 14, № 5. – С. 34–41.

11. Соколик, В. Ф. О влиянии воды на воспламенение и горение углеводородных топлив / В. Ф. Соколик, А. Ф. Соколик // Физика горения и взрыва. – 1975. – Т. 11, № 4. – С. 579-589.

12. Соколов, Е. Н. Водотопливные эмульсии в энергетике и на транспорте / Е. Н. Соколов, В. И. Крутов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.

13. Агафонов, Н. В. Использование водотопливной эмульсии для снижения токсичности отработавших газов дизеля / Н. В. Агафонов, Е. И. Беляев // Двигателестроение. – 1981. – № 9. – С. 28-30.

14. Lasheras J. C., Fernandez-Pello A. C., Dryer F. L. Experimental and Theoretical Study of the 'Microexplosion' of Burning Emulsion Droplets. Symposium (International) on Combustion. 1980. Vol. 18, Issue 1, P. 293-305.

15. Law, C. K. A Model for the Combustion of Oil/Water Emulsion Droplets. Combustion Science and Technology. 1978. Vol. 17, Issue 3-4, P. 129-138.

16. Wang C. H., Liu X. Q., Law C. K. Combustion and Microexplosion of Freely Falling Multicomponent Droplets. Combustion and Flame. 1984. Vol. 56, P. 175-197.

17. Ishikawa, M. Experimental study on the combustion of emulsified fuel droplets and sprays / M. Ishikawa, N. Takeno // Bulletin of the JSME. – 1979. – Vol. 22, No. 173. – Pp. 1184-1191.

18. Ishikawa, M. Characteristics of spray combustion of emulsified fuel / M. Ishikawa, S. Nakatani // Proceedings of the International Symposium on Combustion. – 1981. – Vol. 18, Issue



1. – Pp. 307-313.

19. Takahashi, T. An Experimental Study of a Direct Injection Diesel Engine Fueled with Emulsified Fuel / T. Takahashi, Y. Iwashiro, T. Sakurai // SAE Technical Paper. – 1983. – № 831294.

20. Hirano, H. Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Using Emulsified Fuel / H. Hirano, K. Tanabe, K. Tsukamoto // Bulletin of the JSME. – 1980. – Vol. 23, No. 185. – Pp. 1927-1934.

21. Крюков, В. И. Влияние водотопливной эмульсии на показатели и токсичность отработавших газов тепловозного дизеля / В. И. Крюков, Л. А. Гимаев, Ю. В. Турко // Теплоэнергетика. – 1982. – № 4. – С. 54-56.

22. Гимаев, Л. А. Особенности процесса сгорания в дизеле при работе на водотопливной эмульсии / Л. А. Гимаев, В. И. Крюков // Двигателестроение. – 1981. – № 5. – С. 25-28.

23. Турко, Ю. В. Экспериментальное исследование влияния дисперсности водотопливной эмульсии на дымность и выбросы окислов азота в дизеле / Ю. В. Турко, Л. А. Гимаев // Химия и технология топлив и масел. – 1982. – № 9. – С. 31-33.

24. Макаров, А. С. Влияние водно-дизельной эмульсии на энергетические и экологические показатели автотракторного дизеля / А. С. Макаров, С. Н. Гаврилов, В. А. Марков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 4 (46). – С. 42-47.

25. Марков, В. А. Исследование рабочих процессов дизеля при работе на водно-топливных эмульсиях с различным содержанием воды / В. А. Марков, А. С. Макаров, С. Н. Гаврилов // Двигателестроение. – 2010. – № 1 (240). – С. 25-29.

26. Гаврилов, С. Н. Анализ влияния водно-топливной эмульсии на износ плунжерных пар топливных насосов высокого давления / С. Н. Гаврилов, В. А. Марков, А. С. Макаров // Трение и износ. – 2013. – Т. 34, № 4. – С. 412-418.

27. Осьминкин, В. В. Физические основы применения эмульгированных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. В. Осьминкин // Вестник машиностроения. – 1988. – № 9. – С. 18-23.

28. Осьминкин, В. В. Экспериментальное исследование процесса испарения и горения капель водотопливных эмульсий / В. В.

29. Осьминкин, А. В. Голубев, С. Т. Зыков // Физика горения и взрыва. – 1985. – Т. 21, № 4. – С. 35-41.

30. Осьминкин В. В. Моделирование процесса сгорания в дизеле на водотопливных эмульсиях с учетом явления микровзрыва / В. В. Осьминкин, С. Т. Зыков, А. В. Голубев // Теплофизика и теплоэнергетика: Сборник научных трудов НИИД. – Л.: НИИД, 1987. – С. 78-85.

31. Heywood, J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York: McGraw-Hill. 1988. ISBN: 0-07-100499-8. 930 p.

32. Henein N. A., Heywood J. B. Approaches to Improved Fuel Economy and Emissions for the Light-Duty Diesel Engine. SAE Technical Paper 800026. 1980

33. Simons G. A., Law C. K. Combustion of Two-Component Liquid Fuel Drops. Proceedings of the Combustion Institute, 1978, 17, pp. 587-594.

34. Tsukamoto H., Senda J., Tanaka T. Reduction of NOx and Smoke in Diesel Engine by Emulsified Fuel. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers (Series B), 1989. 55(510), pp. 551-556.

35. Марков, В. А. Исследование рабочих процессов дизеля при работе на водотопливных эмульсиях / В. А. Марков, А. Ф. Габбасов, С. Н. Гаврилов // Двигателестроение – 2003. – № 1. – С. 29-31.

36. Крюков, В. И. Влияние водотопливной эмульсии на показатели и токсичность отработавших газов тепловозного дизеля / В. И. Крюков, Л. А. Гимаев, Ю. В. Турко // Теплоэнергетика – 1982. – № 4. – С. 54-56.

37. Осьминкин, В. В. Влияние дисперсности воды на процесс самовоспламенения и горения топливных эмульсий в дизеле / В. В. Осьминкин, А. В. Голубев // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – № 12. – С. 52-57.

38. Tsukamoto H., Senda J., Tanaka T. Reduction of NOx and Smoke in Diesel Engine by Emulsified Fuel. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers (Series B), 1989, 55(510), pp. 551-556.

39. Abu-Zaid M. Performance of single cylinder, direct injection Diesel engine using water fuel emulsions. Energy Conversion and Management, 2004, 45(5), 697-705.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Gorelik, G. B. *Vodotoplivnaya ehmul'siya – al'ternativnoe toplivo XXI veka : monografiya* / G. B. Gorelik. – Khabarovsk: Izd-vo Tikhookean. gos. un-ta, 2019. – 202 s.

2. Sadetdinov, SH. V. *Povyshenie korrozionnoj stojkosti uglerodistoj stali s pomoshch'yu dipinakonboratnykh soedinenij* / SH. V. Sadetdinov, L. SH. Pestryaeva, I. V. Fadeev, D. A. Pestryaev // *Chernye metally*. – 2020. – №11. – С. 40-45.

3. Byshov, N. V. *Razrabotka novogo sredstva dlya zashchity sel'skokhozyajstvennykh mashin pri khranenii* / N. V. Byshov, S. N. Borychev, I. A. Uspenskij, I. V. Fadeev // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. – 2019. – № 6 (264). – С. 38-42.

4. Byshov, N. V. *Izmenenie kontaktnykh uglov smachivaniya pri dobavlenii v moyushchie rastvory poverkhnostno-aktivnykh veshchestv* / N. V. Byshov, I. A. Uspenskij, V. V. Alekseev, I. V. Fadeev // *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. – 2019. – Т. 29. – № 2. – С. 295-305.



5. Zel'dovich, YA. B. K teorii ispareniya kapel' zhidkosti / YA. B. Zel'dovich // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. – 1948. – T. 18, vyp. 1. – S. 3–10.
6. Krutov, V. I. Issledovanie processa sgoraniya vodomazutnykh ehmul'sij v topkakh parogeneratorov / V. I. Krutov, A. D. Prokhorov, E. N. Sokolov // Teploehnergetika. – 1982. – № 8. – S. 54–57.
7. Krutov, V. I. Vliyanie vodotoplivnykh ehmul'sij na rabochij process i toksichnost' otrabotavshikh gazov dizelya / V. I. Krutov, E. N. Sokolov, N. V. Agafonov // Dvigatelistroenie. – 1983. – № 10. – S. 26–28.
8. Rozlovskij, G. V. Issledovanie vzryvnogo vskipaniya kapel' vodomazutnykh ehmul'sij / G. V. Rozlovskij, L. A. Krisher // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. – 1976. – T. 31, № 4. – S. 615–621.
9. Rozlovskij, G. V. Kinetika ispareniya kapel' ehmul'sij / G. V. Rozlovskij, L. A. Krisher // Teplofizika i teploehnergetika: sb. nauch. tr. – Novosibirsk, 1977. – S. 78–85.
10. Rozlovskij, G. V. Ekhspperimental'noe issledovanie nagreva i vzryvnogo raspada kapel', soderzhashchikh vklucheniya legkokipyashchej zhidkosti / G. V. Rozlovskij, L. A. Krisher // Fizika goreniya i vzryva. – 1978. – T. 14, № 5. – S. 34–41.
11. Sokolik, V. F. O vliyanii vody na vosplamenenie i gorenje uglevodorodnykh topliv / V. F. Sokolik, A. F. Sokolik // Fizika goreniya i vzryva. – 1975. – T. 11, № 4. – S. 579–589.
12. Sokolov, E. N. Vodotoplivnye ehmul'sii v ehnergetike i na transporte / E. N. Sokolov, V. I. Krutov. – M.: Khimiya, 1990. – 240 s.
13. Agafonov, N. V. Ispolzovanie vodotoplivnoj ehmul'sii dlya snizheniya toksichnosti otrabotavshikh gazov dizelya / N. V. Agafonov, E. I. Belyaev // Dvigatelistroenie. – 1981. – № 9. – S. 28–30.
14. Lasheras J. C., Fernandez-Pello A. C., Dryer F. L. Experimental and Theoretical Study of the 'Microexplosion' of Burning Emulsion Droplets. Symposium (International) on Combustion. 1980. Vol. 18, Issue 1, P. 293–305.
15. Law, C. K. A Model for the Combustion of Oil/Water Emulsion Droplets. Combustion Science and Technology. 1978. Vol. 17, Issue 3–4, P. 129–138.
16. Wang C. H., Liu X. Q., Law C. K. Combustion and Microexplosion of Freely Falling Multicomponent Droplets. Combustion and Flame. 1984. Vol. 56, P. 175–197.
17. Ishikawa, M. Experimental study on the combustion of emulsified fuel droplets and sprays / M. Ishikawa, N. Takeno // Bulletin of the JSME. – 1979. – Vol. 22, No. 173. – Pr. 1184–1191.
18. Ishikawa, M. Characteristics of spray combustion of emulsified fuel / M. Ishikawa, S. Nakatani // Proceedings of the International Symposium on Combustion. – 1981. – Vol. 18, Issue 1. – Pr. 307–313.
19. Takahashi, T. An Experimental Study of a Direct Injection Diesel Engine Fueled with Emulsified Fuel / T. Takahashi, Y. Iwashiro, T. Sakurai // SAE Technical Paper. – 1983. – № 831294.
20. Hirano, H. Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Using Emulsified Fuel / H. Hirano, K. Tanabe, K. Tsukamoto // Bulletin of the JSME. – 1980. – Vol. 23, No. 185. – Pr. 1927–1934.
21. Kryukov, V. I. Vliyanie vodotoplivnoj ehmul'sii na pokazateli i toksichnost' otrabotavshikh gazov teplovoznogo dizelya / V. I. Kryukov, L. A. Gimaev, YU. V. Turko // Teploehnergetika. – 1982. – № 4. – S. 54–56.
22. Gimaev, L. A. Osobennosti processa sgoraniya v dizele pri rabote na vodotoplivnoj ehmul'sii / L. A. Gimaev, V. I. Kryukov // Dvigatelistroenie. – 1981. – № 5. – S. 25–28.
23. Turko, YU. V. Ekhspperimental'noe issledovanie vliyaniya dispersnosti vodotoplivnoj ehmul'sii na dymnost' i vybrosy okislov azota v dizele / YU. V. Turko, L. A. Gimaev // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. – 1982. – № 9. – S. 31–33.
24. Makarov, A. S. Vliyanie vodno-dizel'noj ehmul'sii na ehnergeticheskie i ehkologicheskie pokazateli avtotraktornogo dizelya / A. S. Makarov, S. N. Gavrilov, V. A. Markov // Transport na al'ternativnom toplive. – 2015. – № 4 (46). – S. 42–47.
25. Markov, V. A. Issledovanie rabochikh processov dizelya pri rabote na vodno-toplivnykh ehmul'siyakh s razlichnym soderzhanijem vody / V. A. Markov, A. S. Makarov, S. N. Gavrilov // Dvigatelistroenie. – 2010. – № 1 (240). – S. 25–29.
26. Gavrilov, S. N. Analiz vliyaniya vodno-toplivnoj ehmul'sii na iznos plunzhernykh par toplivnykh nasosov vysokogo davleniya / S. N. Gavrilov, V. A. Markov, A. S. Makarov // Trenie i iznos. – 2013. – T. 34, № 4. – S. 412–418.
27. Os'minkin, V. V. Fizicheskie osnovy primeneniya ehmul'girovannykh topliv v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya / V. V. Os'minkin // Vestnik mashinostroeniya. – 1988. – № 9. – S. 18–23.
28. Os'minkin, V. V. Ekhspperimental'noe issledovanie processa ispareniya i goreniya kapel' vodotoplivnykh ehmul'sij / V. V. Os'minkin, A. V. Golubev, S. T. Zykov // Fizika goreniya i vzryva. – 1985. – T. 21, № 4. – S. 35–41.
29. Os'minkin V. V. Modelirovanie processa sgoraniya v dizele na vodotoplivnykh ehmul'siyakh s uchedom yavleniya mikrovzryva / V. V. Os'minkin, S. T. Zykov, A. V. Golubev // Teplofizika i teploehnergetika: Sbornik nauchnykh trudov NIID. – L.: NIID, 1987. – S. 78–85.
30. Heywood, J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York: McGraw-Hill. 1988. ISBN: 0-07-100499-8. 930 p.
31. Henein N. A., Heywood J. B. Approaches to Improved Fuel Economy and Emissions for the Light-Duty Diesel Engine. SAE Technical Paper 800026. 1980
32. Simons G. A., Law C. K. Combustion of Two-Component Liquid Fuel Drops. Proceedings of the Combustion Institute, 1978, 17, pp. 587–594.



33. Tsukamoto H., Senda J., Tanaka T. Reduction of NO_x and Smoke in Diesel Engine by Emulsified Fuel. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers (Series B), 1989. 55(510), pp. 551-556.
34. Markov, V. A. Issledovanie rabochikh processov dizelya pri rabote na vodotoplivnykh ehmul'siyakh / V. A. Markov, A. F. Gabbasov, S. N. Gavrilov // Dvigatelistroenie – 2003. – № 1. – S. 29-31.
35. Kryukov, V. I. Vliyanie vodotoplivnoy ehmul'sii na pokazateli i toksichnost' otrabotavshikh gazov teplovoznogo dizelya / V. I. Kryukov, L. A. Gimaev, YU. V. Turko // Teploehnergetika – 1982. – № 4. – S. 54-56.
36. Os'minkin, V. V. Vliyanie dispersnosti vody na process samovosplameneniya i goreniya toplivnykh ehmul'sij v dizele / V. V. Os'minkin, A. V. Golubev // Izvestiya vuzov. Mashinostroenie. – 1986. – № 12. – S. 52-57.
37. Tsukamoto H., Senda J., Tanaka T. Reduction of NO_x and Smoke in Diesel Engine by Emulsified Fuel. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers (Series B), 1989, 55(510), pp. 551-556.
38. Abu-Zaid M. Performance of single cylinder, direct injection Diesel engine using water fuel emulsions. Energy Conversion and Management, 2004, 45(5), 697-705.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторе

Фадеев Иван Васильевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технических дисциплин, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И. Я. Яковлева», ivan-fadeev-2012@mail.ru

Information about the author

Fadeev Ivan V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Disciplines, Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev, ivan-fadeev-2012@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.10.2025; одобрена после рецензирования 06.11.2025; принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 29.06.2025; approved after reviewing 06.11.2025; accepted for publication 15.12.2025.