

ISSN 2077-2084

10.36508/RSATU.2026.39.43.001

Том 18, №3, '2026

12+

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 18, № 3, 2026

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
О.И. Князькова

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
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
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, О.И. Князькова**

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 №1723
Дата выхода в свет 30.09.2026

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**

Scientific specialties and their respective branches of science:

- 4.1.1. Agriculture and Plant Growing (Agriculture)**
- 4.1.3. Agrochemistry, Soil Science and Plant Protection (Agriculture)**
- 4.1.5. Land Reclamation and Water Management (Agriculture)**
- 4.1.5. Land Reclamation and Water Management (Engineering)**
- 4.2.2. Veterinary Sanitary Inspection and Biosafety (Veterinary Medicine)**
- 4.2.2. Veterinary Sanitary Inspection and Biosafety (Biology)**
- 4.2.4. Zootechnics, Feeding and Livestock Production (Agriculture)**
- 4.2.5. Breeding, Genetics and Animal Biotechnology (Agriculture)**
- 4.2.5. Breeding, Genetics and Animal Biotechnology (Biology)**
- 4.3.1. Agricultural Machinery (Engineering)**
- 4.3.1. Agricultural Machinery (Agriculture)**
- 4.3.2. Electrical Technologies in Agriculture (Engineering)**

Scientific-Production Journal

Issued since 2009

Issued once a quarter

Vol. 18 # 3, 2026

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

O.I. Knyazkova

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

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

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, O.I. Knyazkova**

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 1723
Date of publication.30.09.2026

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

Гуреева Е.В., Виноградов Д.В., Солодягина А.В. Влияние гидротермических условий на продуктивность сои	5
Илюшов Н.Я., Угай С.М. Установление аспектов гравитационного осаждения загрязняющих веществ усовершенствованной прогнозно-аналитической моделью	12
Капитулина О.Н., Лупова К.Р., Виноградов А.Д. Продуктивность сортов картофеля при использовании агрохимикатов в условиях юга Нечерноземья	21
Кистанова С.А., Виноградов Д.В. Урожайность сортов гречихи посевной при использовании агрохимикатов в условиях юга Нечерноземья	33
Косилов В.И., Никонова Е.А., Юлдашбаев Ю.А., Калякина Р.Г., Рахимжанова И.А. Морфологический состав туши и соотношение тканей бычков калмыцкой породы и ее помесей с абердин-ангуссами и герефордами	45
Прахова Т.Я., Чернышова Н.Г. Оценка продуктивности масличной культуры люцерны (Lallemantia) при интродукции в среднее Поволжье	52
Солодовников А.П., Ванин Д.А., Гераскина А.А. Агрофизический и водный режим в посевах нута при минимизации основной обработки почвы в левобережье Саратовской области	60
Черкашина М.И., Алимгафаров Р.Р., Ахияров Б.Г., Черкашина А.Г. Физиологические процессы и их реализация в агротехнике дикорастущей черной смородины (<i>Ribes Nigrum L.</i>)	68

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Вольская О.Н. Обезжелезивание и деманганация подземных вод озono-воздушной смесью с использованием вакуумно-эжекторных аппаратов	75
Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Косов П.Н. Анализ моделей оптимизации парка сельскохозяйственной техники	82
Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Косов П.Н. Разработка и апробация алгоритма комплектования машинно-тракторных агрегатов для обработки почвы	90
Дрововозова Т.И., Мильченкова Д.В. Исследования адсорбционных свойств клиноптилолита в процессе очистки коллекторно-дренажных вод	96
Жбанов Н.С., Чернышев А.Д., Крысанов А.М. Анализ конструкции подшипникового узла для водяного погружного насоса типа ЭЦВ-8 с обоснованием изменения материала и конструкции втулки подшипника скольжения	105
Медведев Н.В., Корсак В.В., Солодовников А.П., Пронько Н.А., Панкова Т.А. Состав и структура цифрового двойника орошаемого поля для условий саратовского Заволжья	114
Мосяков М.А. Разработка адаптивного высевающего аппарата на электроприводе	123
Онкаев А.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Лимаренко Н.В., Эвиев В.А. Оценка целесообразности перехода к децентрализованному электролизному производству гипохлорита натрия в республике Калмыкия	131
Пахомов А.А., Вольская О.Н., Тронеv С.В., Чураков А.А. Результаты исследования оптимальных технологических параметров модульной установки для очистки подземных вод в системах водного хозяйства АПК	138
Ринас Н.А., Кайгородова М.А. Обоснование параметров молотильного аппарата при уборке подсолнечника	149
Рудаков В.А., Каратунова А.А., Ширяев В.Н., Дегтярева К.А. Теоретический анализ работы всасывающих трубопроводов с вводом удобрений в оросительную сеть	156
Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Рембалович Г.К. Обоснование конструктивной компоновки мотор-редукторных приводов тележек многоопорных дождевальных машин	163
Трешкин И.А., Голубев В.В., Фирсов А.С. Инновационные технологии посева зерновых культур и используемая посевная техника	171
Трунов М.С., Петухов С.Н., Пехнов С.А., Овчинников А.Ю. Технология дифференцированной химической фитопроцистки семенного картофеля методом локального внутрпочвенного внесения препарата	179
Фадеев И.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Астахов П.А. Экспериментальная оценка устойчивости движения колесной транспортно-технологической машины при торможении на различных покрытиях	186
Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Воякин С.Н., Поликутина Е.С., Щитова В.А. Повышение эффективности внесения минерального удобрения в почву селекционной сеялкой «СС-11»	193



Content

AGRICULTURAL SCIENCES

Gureeva E.V., Vinogradov D.V., Solodyagina A.V. The influence of hydrothermal conditions on soybean productivity	5
Ilyushov N.Ya., Ugai S.M. Establishing aspects of gravitational deposition of pollutants by an advanced predictive analytical mode	12
Kapitulina O.N., Lupova K.R., Vinogradov A.D. Potato productivity when using agrochemicals in the conditions of the south Non-Chernozem Zone	21
Kistanova S.A., Vinogradov D.V. Yield of buckwheat varieties when using agrochemicals in the conditions of the Southern Non-Chernozem region	33
Kosilov V.I., Nikonova E.A., Yuldashbaev Yu.A., Kalyakina R.G., Rakhimzhanova I.A. Morphological composition of carcasses and tissue ratio of Kalmyk bull calves and their hybrids with Aberdeen Angusians and Herefords	45
Prakhova T.Ya., Chernyshova N.G. Evaluation of the productivity of the oilseed crops lallemantia (Lallemantia) when introduction into the Middle Volga region	52
Solodovnikov, A.P., Vanin, D.A., Geraskina, A.A. Agrophysical and water regime in chickpea crops with minimization of primary tillage of dark chestnut soils in the Saratov trans-volga region	60
Cherkashina M.I., Alimgafarov R.R., Akhiyarov B.G., Cherkashina A.G. Physiological processes and their implementation in agrotechnics of wild black currant (Ribes Nigrum L.)	68

TECHNICAL SCIENCES

Vol'skaya O.N. Iron removal and demanganation of groundwater with an ozone-air mixture using vacuum-ejection devices	75
Didmanidze O.N., Parliuk E.P., Kosov P.N. Analysis of models for optimizing the fleet of agricultural machinery	82
Didmanidze O.N., Parliuk E.P., Kosov P.N. Development and testing of an algorithm for the selection of machine-tractor units for soil tillage	90
Drovovozova T.I., Milchenkova D.V. Research on the adsorption properties of clinoptilolite in the process of collector-drainage water purification	96
Zhbanov N.S., Chernyshev A.D., Krysanov A.M. Analysis of the bearing assembly design for an ecv-8 type submersible water pump with justification for changing the material and design of the sliding bearing sleeve	105
Medvedev N.V., Korsak V.V., Solodovnikov A.P., Pronko N.A., Pankova T.A. Composition and structure of a digital twin of an irrigated field for the conditions of the Saratov Trans-Volga region	114
Mosyakov M.A. Development of an adaptive seeding unit with an electric drive	123
Onkaev A.V., Uspensky I.A., Yukhin I.A., Limarenko N.V., Eviev V.A. Feasibility assessment of transition to decentralized electrolysis production of sodium hypochlorite in the republic of Kalmykia	131
Pakhomov A.A., Vol'skaya O.N., Tronev S.V., Churakov A.A. The results of the study of optimal technological parameters of a modular installation for groundwater treatment in agricultural water management systems	138
Rinas N.A., Kaigorodova M.A. Justification of the parameters of the threshing machine during sunflower harvestin	149
Rudakov V.A., Karatunova A.A., Shiryayev V.N., Degtyareva K.A. Theoretical analysis of the operation of suction pipelines introducing fertilizers into an irrigation network	156
Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Rembalovich G.K. Substantiation of the structural layout of gear motor drives for trolleys of multi-support sprinklers	163
Treshkin I.A., Golubev V.V., Firsov A.S. Innovative grain sowing technologies and the seeding equipment used	171
Trunov M.S., Petukhov S.N., Pekhnov S.A., Ovchinnikov A.Yu. Technology of differentiated chemical roguing of seed potatoes by local subsurface application of the preparation	179
Fadeev I.V., Uspensky I.A., Yukhin I.A., Astakhov P.A. Experimental assessment of the motion stability of a wheeled transport technological vehicle during braking on various surfaces	186
Shchitov S.V., Krivutsa Z.F., Voyakin S.N., Polikutina E.S., Shchitova V.A. Increasing the efficiency of applying mineral fertilizers to the soil with the «SS-11» selection seeder	193



СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ



Вестник РГАТУ, 2026, т.18, № 3 с. 5-11
Vestnik RGATU, 2026, Vol. 18, № 3, pp. 5-11

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.34:631.559
DOI: 10.36508/RSATU.2026.97.47.002

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ

Елена Васильевна Гуреева¹✉, Дмитрий Валериевич Виноградов², Анна Викторовна Солодягина^{1,2}

¹ Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», с. Подвязье, Рязанская обл., Россия

² ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

✉ elenagureeva@bk.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Главным лимитирующим фактором для формирования урожайности сои является влагообеспеченность. Культура чувствительна к дефициту влаги и потребность в воде меняется в зависимости от фазы вегетации.

Цель исследований – выявить и оценить влияние погодно-климатических условий на изменчивость биологических и хозяйственных признаков у сои сорта Славянка.

Методология. Полевые опыты выполнены в вегетационные периоды 2023–2025 гг. в Институте семеноводства и агротехнологий (с. Подвязье, Рязанская область). Характеристика участка проведения опыта: почва темно-серая лесная, по гранулометрическому составу тяжелосуглинистая. Для определения уровня влагообеспеченности в период вегетации рассчитывали ГТК – гидротермический коэффициент. Использовали методику Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур РФ. Статистическая обработка данных по Б.А. Доспехову. Содержание масла и белка в семенах определяли на экспресс-анализаторе цельного зерна Infratec 1241 Foss.

Научная работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ФГБНУ ФНАЦ ВИМ FGUN-2025-0012 «Создать новые генотипы и сорта сельскохозяйственных культур, адаптированные к агроклиматическим условиям ландшафта и разработать технологии способствующие раскрытию потенциала сорта».

Результаты. Исследования показали, что изменчивость погодных условий в годы исследования и в период репродуктивных фаз сои (R2-R6) оказывала влияние на формирование элементов урожая. Наибольшее влияние на значение хозяйственных признаков у сои сорта Славянка оказывают погодные условия июня и июля. Анализ корреляционных связей между хозяйственно-ценными признаками сои в 2023-2025 гг. показал, что зависимость урожайности и ГТК июня $r=0,884\pm0,04$ – очень сильная. Наибольший вклад в формирование урожайности вносят следующие признаки – количество бобов ($r=0,935\pm0,07$) и количество семян ($r=0,963\pm0,04$) на растении.

Заключение. Полученная информация будет применена для усовершенствования сортовой технологии возделывания сои в условиях лесостепной зоны юга Рязанской области.

Ключевые слова: соя, погодно-климатические условия местности, урожайность, Рязанская область

Для цитирования: Гуреева Е.В., Виноградов Д.В., Солодягина А.В. Влияние гидротермических условий на продуктивность сои // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т. 18, № 3, С. 5-11 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.97.47.002>



THE INFLUENCE OF HYDROTHERMAL CONDITIONS ON SOYBEAN PRODUCTIVITY

Elena V. Gureeva¹✉, Dmitry V. Vinogradov², Anna V. Solodyagina^{1,2}¹ Institute of Seed Production and Agrotechnologies – a branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Podyavye village, Ryazan region, Russia² Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia

✉ elenagureeva@bk.ru

Annotation.

Problem and purpose. The main limiting factor for soybean yield formation is moisture availability. The crop is sensitive to moisture deficiency, and its water requirements vary depending on the growing season phase. The goal of the research is to identify and assess the impact of weather and climatic conditions on the variability of biological and economic characteristics in the Slavyanka soybean variety.

Methodology. Field experiments were performed during the growing season of 2023-2025 at the Institute of Seed Production and Agrotechnology (Podvyazye village, Ryazan region). Characteristics of the experiment site: dark gray forest soil, heavy loamy in terms of granulometric composition. To determine the level of moisture availability during the growing season, the HTC hydrothermal coefficient was calculated. The methodology of the State variety testing of agricultural crops of the Russian Federation was used. Statistical data processing according to B.A. Dospekhov. The oil and protein content in the seeds was determined using the Infratec 1241 Foss whole grain rapid analyzer. The work was carried out as part of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of Russia for the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Agroengineering Center VIM FGUN-2025-0012.

Results. Studies have shown that the variability of weather conditions during the study years and during the reproductive phases of soybeans (R2-R6) influenced the formation of crop elements. The weather conditions of June and July have the greatest influence on the importance of economic characteristics in soybeans of the Slavyanka variety. The analysis of correlations between the economically valuable traits of soybeans in 2023-2025 showed that the dependence of yield and GTC on $r=0.884\pm0.04$ is very strong. The following traits make the greatest contribution to yield formation: the number of pods ($r = 0.935 \pm 0.07$) and the number of seeds ($r = 0.963 \pm 0.04$) per plant.

Conclusion. The information obtained will be used to improve the varietal technology of soybean cultivation in the forest steppe zone of the south of the Ryazan Region.

Keywords: soybean, weather and climatic conditions of the area, yield, Ryazan Region

For citation: Gureeva E.V., Vinogradov D.V., Solodyagina A.V. The influence of hydrothermal conditions on soybean productivity // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No.3, P. 5-11 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.97.47.002>

Введение

Соя – одна из основных бобовых культур, составляющая белок в больших объемах [12] и являющаяся стратегическим сырьем для пищевой и кормовой индустрии благодаря высокому содержанию растительного белка и масла [13]. В семенах сои установлено высокое содержание протеина — на уровне 40 %, при этом аминокислотный состав белка характеризуется оптимальным соотношением незаменимых и заменимых аминокислот. Липидный состав представлен в концентрации порядка 20 % включающей жиры с значительной биологической ценностью. Помимо этого, в составе семян обнаружены биологически активные соединения — фитоэстрогены и лецитин, обладающие терапевтическими свойствами [8].

Бутовец с соавторами утверждают, что «соя – широко распространенная культура, выращиваемая в разных климатических зонах, часто с нестабильным и контрастным поведением в течение вегетации» (Цит. по: [2, с. 679]).

Актуальность проведения мониторинговых исследований, направленных на выявление динамики и ключевых тенденций в производстве сои,

обусловлена высокой экономической и стратегической ценностью данной сельскохозяйственной культуры в структуре аграрного сектора, а также ее уникальное географическое распространение как внутри страны, так и по всему миру [1]. Прогнозируется, что к 2030 году доминирование отечественного семенного материала позволит сократить долю зарубежных сортов сои и достичь 75 % уровня самообеспечения семенами отечественной селекции, что является критически важным для устойчивого развития сельскохозяйственного производства и обеспечения продовольственной безопасности государства, и повышения конкурентоспособности отечественного производителя на мировом рынке [4]. Рязанская область занимает 6 место в России по объему сбора сои. Производство сои последние годы растет. В 2024 году было собрано более 250 тыс. т зерна сои, что выше показателя 2023 года на 5 %. Посевные площади за последние три года увеличились на 18 %. Лидерами по производству сои в Рязанской области являются Сараевский, Шацкий, Старожиловский, Скопинский и Михайловский районы [3]. Посевные площади сои в Рязанской области в 2025



году площади посева составили 150,4 тыс. га, изменения составили 119,5 % по отношению к году предыдущему [5] (Площади, сборы и урожайность сои в Рязанской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agro-bursa.ru/gazeta/agristatistics/2025/09/28/posevnye-ploshhadi-soi-v-osnovnykh-regionakh-ee-proizvodstva-v-2025-godu.html>. (дата обращения 25.08.2026)).

Реализация потенциала сельскохозяйственных культур зависит от генотипа сорта и условий произрастания. Известно, что абиотические стрессы в репродуктивный период развития сои (фазы R2–R6) являются главными факторами снижения урожайности и ухудшения качества посевного материала [6]. Главным лимитирующим фактором для формирования урожайности сои является влагообеспеченность. Культура чувствительна к дефициту влаги и потребность в воде меняется в зависимости от фазы вегетации [9].

Эффективным фактором улучшения производства в сельском хозяйстве является сорт. В условиях изменяющегося и нестабильного климата получение стабильных и высоких урожаев является приоритетной задачей сельхозтоваропроизводителей [10]. Достижение стабильно высоких урожаев сои наиболее эффективно реализуется при освоении в производстве новых сортов, обладающих комплексом целевых признаков — скороспелостью, повышенной урожайностью, устойчивостью к полеганию и осыпанию, а также резистентностью к распространённым патогенам [7]. Основными структурными элементами, определяющими продуктивность растения, являются количество и размер семян, масса семян с растения и масса 1000 семян; данные показатели подвергаются существенной изменчивости под воздействием внешних факторов, формирующих условия выращивания культуры [11].

Цель исследований – выявить и оценить влияние погодно-климатических условий на изменчивость биологических и хозяйственных признаков у сои сорта Славянка.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты выполнены в вегетационные периоды 2023–2025 гг. в Институте семеноводства и агротехнологий (с. Подвязье, Рязанская область). Характеристика участка проведения эксперимента: почва темно-серая лесная, по гранулометрическому составу тяжелосуглинистая. Содержание органического вещества в пахотном слое 5,81 %, общего азота – 0,230 %, pH солевой вытяжки 5,03 ед. Обеспеченность почвы подвижным фосфором и подвижным калием высокая.

Агротехнические мероприятия в эксперименте общепринятые для возделывания сои в Центральном регионе РФ. Предшественник – черный пар. Предпосевная обработка почвы включала следующие операции: раннее весеннее боронование, 2-х кратную культивацию и тщательное выравнивание поля. Под предпосевную культивацию внесены минеральные удобрения в виде азофоски ($N_{8}P_{19}K_{29}S_3$). В день посева семена обрабо-

таны инокулянт «Нитрагин КМ» производства ООО «НТЦ БИО». Семена для посева, согласно ГОСТ Р 52325-2005, соответствовали категории ОС. Посев проводили при прогревании почвы на глубине заделки семян до +12° С. Для посева использовали сеялку СН-16. Ширина междурядий 0,45 м (широкорядный посев) с нормой высева 550 тыс. всхожих семян на гектар.

Расположение делянок систематическое, площадь учетной делянки 50 м², повторность – 4-х кратная. Методика уборки урожая: сплошной обмолот растений с учетной части делянки комбайном «Сампо-130» в фазу полной спелости (рис. 1). В дальнейшем – взвешивание делянок и отбор пробы семян на определение влажности; пересчет урожайности на стандартную влажность 14 %.



Рис. 1 – Уборка урожая опытных делянок сои по вариантам

Fig. 1 – Harvesting of experimental soybean plots according to the variants

Для определения уровня влагообеспеченности в период вегетации рассчитывали ГТК – гидротермический коэффициент. Использовали методику Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур РФ (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под общ. ред. М.А. Федина. М.: Колос. 1983;3:184). Статистическая обработка данных по Б.А. Доспехову (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат. 1985;351). Содержание масла и белка в семенах определяли на экспресс-анализаторе цельного зерна Infratec 1241 Foss.

Результаты исследований и их обсуждение

Среднесуточная температура воздуха и сумма осадков (данные метеостанции Института семеноводства и агротехнологий) представлены в таблице 1. ГТК за вегетационный период 2023 года составил 0,50; ГТК сезона 2024 года – 0,54; ГТК за вегетационный период 2025 года – 0,90.

Для посева использовали сорт сои селекции ФГБНУ ФНАЦ ВИМ Славянка (патент № 11572), включенный в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в 2021 году.



Таблица 1–Среднесуточная температура и сумма осадков вегетационного периода сои, 2023-2025 гг

Месяц	Декада	Среднесуточная температура воздуха, °С			Сумма осадков, мм		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Май	1	10,0	9,0	12,4	2,4	39,6	2,8
	2	17,9	13,0	13,2	0	2,2	7,2
	3	19,7	21,9	23,9	6,5	0	0,9
Июнь	1	19,3	24,3	21,9	3,2	6,0	8,4
	2	23,7	23,7	17,6	0,8	58,4	38,1
	3	21,9	21,9	16,7	31,5	12,1	17,2
Июль	1	22,9	26,4	21,5	18,1	37,6	8,4
	2	18,7	25,7	24,0	21,0	49,2	30,5
	3	21,9	21,7	22,2	43,3	14,5	27,3
Август	1	25,9	21,9	20,5	4,9	13,0	27,0
	2	23,7	20,8	18,0	16,1	0,2	19,7
	3	18,7	23,6	15,8	1,6	0	52,3

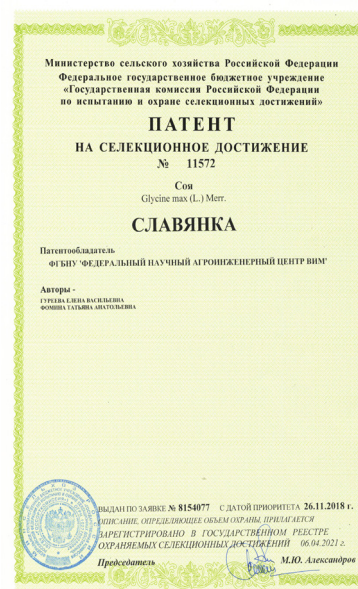


Рис. 2 – Семена, цветок и растение сои сорта Славянка и патент на селекционное достижение
Fig. 2 – Seeds, flower, and plant of the Slavyanka variety of soybeans and a patent for a breeding achievement

Для посева использовали сорт сои селекции ФГБНУ ФНАЦ ВИМ Славянка (патент № 11572), включенный в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в 2021 году.

Сорт раннеспелый, вегетационный период 92-103 дня. Высота растений от низкого до среднего, что обеспечивает устойчивость к полеганию. Средняя урожайность семян составляет 2,2, максимальная достигает 2,9 т/га. Масса 1000 семян 159-193 г. Содержание масла в семенах 18-20 %. Содержание белка в семенах 39-41 %. Сорт обладает высокой полевой устойчивостью к семядольному бактериозу и септориозу, устойчив к растрескиванию бобов после созревания и осыпанию семян, отзывчив на нитрагинизацию (рис. 2).

Температура воздуха и количество осадков – основные факторы, влияющие на продолжительность вегетационного периода. Для выявления связи продолжительности вегетационного периода с погодными условиями сезона использован корреляционный анализ. Выявлена умеренная (средняя) положительная связь продолжительности вегетационного периода с ГТК июня ($r=0,562\pm 0,09$) и ГТК июля ($r=0,664\pm 0,04$).

Высота растений имеет очень сильную связь ($r=0,908\pm 0,03$) с ГТК июня; связь с ГТК вегетационного периода сильная ($r=0,744\pm 0,07$).

У продуктивности растения и урожайности средняя положительная связь с ГТК сезона ($r=0,490$ и $0,481$ соответственно).

Наибольшая изменчивость по годам исследо-



ваний отмечена по высоте растения ($V=12,5\%$). Данные таблицы 2 свидетельствуют, что изменчивость по основным признакам незначительная, что характеризует сорт как стабильный (табл. 2).

Анализ корреляционных связей между хозяйственно-ценными признаками сои в 2023-2025 гг.

показал, что зависимость урожайности и ГТК июня $r=0,884\pm 0,04$ – очень сильная. Наибольший вклад в формирование урожайности вносят следующие признаки – количество бобов ($r=0,935\pm 0,07$) и семян ($r=0,963\pm 0,04$) на растении, что выявил мониторинг и подсчет в опыте (рис. 3).

Таблица 2 – Изменчивость признаков сои сорта Славянка (2023-2025 гг.)

Признак	Год			X	V, %
	2023	2024	2025		
Вегетационный период, дней	96	103	103	100	3,11
Высота растений, см	58	78	78	71	12,5
Масса семян с 1 растения, г	14,7	11,8	13,9	13,5	8,22
Количество продуктивных узлов, шт	13,9	13,8	14,2	14,0	1,05
Количество бобов, шт.	30,0	35,2	37,4	34,2	8,18
Масса 1000 семян, г	193	174	187	185	3,84
Высота прикрепления нижнего боба, см	11,1	10,8	12,5	11,5	5,91



Рис. 3 – Осмотр и мониторинг посевов сои сорта Славянка

Fig. 3 – Inspection and monitoring of soybean crops of the Slavyanka variety

Максимальная урожайность сои Славянка в опыте получена в 2023 году и составила 2,29 т/га (табл. 3). Средняя урожайность семян за годы исследований была на уровне 2,13 т/га.

Таблица 3 - Урожайность семян сои, т/га, 2023-2025 гг.

Сорт	Урожайность, т/га				V, %
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	среднее	
Славянка	2,29	1,89	2,21	2,13	7,51
НСР ₀₅ , т/га	0,17	0,14	0,09	0,13	

Анализ качества семян показал, что содержание протеина (на сухое вещество) в зерне сои в годы исследований находилось в пределах 38,7-41,0 % (рис. 4).

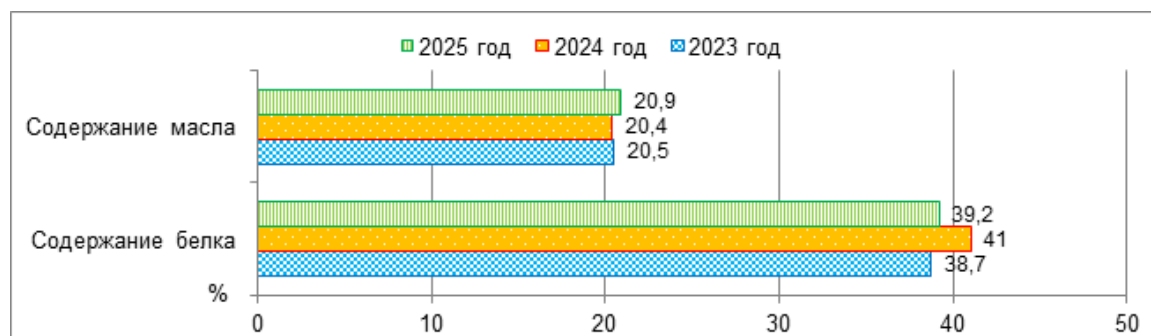


Рис. 4 – Содержание белка и масла в семенах сои, % (на сухое вещество)

Fig. 4 – Protein and oil content in soybean seeds, % (based on dry matter)



Наибольший сбор белка зафиксирован в 2023 году и составил 620 кг/га, масла – в 2025 году и составил 323 кг/га (рис. 5).

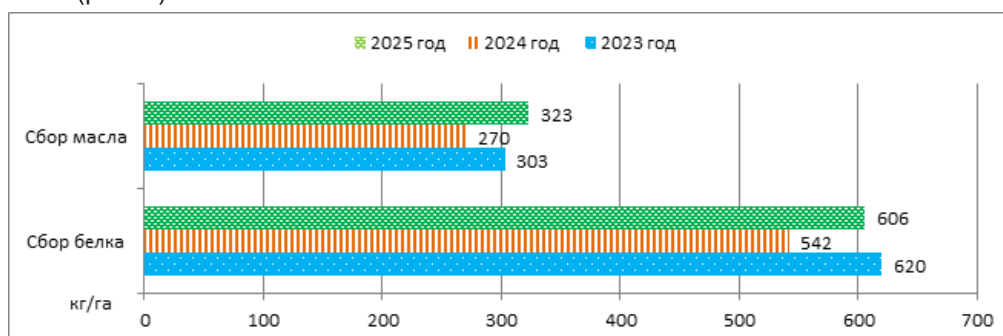


Рис. 5 – Сбор белка и масла в семенах сои, кг/га
Fig. 5 – Protein and oil content in soybean seeds, kg/ha

Выводы. Исследования показали, что изменчивость погодных условий в годы исследования и в период репродуктивных фаз сои (R2-R6) оказывала влияние на формирование элементов структуры урожая. Наибольшее влияние на показатели хозяйственно-ценных признаков у сои сорта Славянка оказывают погодные условия июня и июля. Полученная информация будет применена для усовершенствования сортовой технологии возделывания сои в условиях Рязанской области.

Научная работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ФГБНУ ФНАЦ ВИМ FGUN-2025-0012.

Список источников

1. Ананьева Т. В., Серебрякова О. В. Тенденции производства сои в мире и России: сравнительный анализ. *Достижения науки и техники АПК*. 2025;39(2):80–86. DOI 10.53859/02352451_2025_39_2_80
2. Бутовец Е. С., Клыков А. Г., Лукьянчук Л. М. Уровень урожайности сортов сои в контрастных погодных условиях. *Аграрный вестник Урала*. 2025;25(5):678–689. DOI 10.32417/1997-4868-2025-25-05-678-689.
3. Виноградов Д.В., Солодягина А.В., Евсенина М.В., Гуреева Е.В. Влияние нормы высева сои на урожайность и качество зерна в условиях Нечерноземной зоны России. *Вестник КрасГАУ*. 2026;5:3–14. DOI 10.36718/1819-4036-2026-5-3-104
4. Волкова Е.А., Смолянинова Н.О., Реймер В.В., Чурилова К.С. Мировые тенденции производства сои (экономический обзор). *Экономика сельского хозяйства России*. 2026;5:136-142. DOI 10.32651/265-136.
5. Евсенина М.В., Виноградов Д.В. Оценка эффективности фунгицидов в агроценозах сои в условиях юга Нечерноземья. *Аграрный научный журнал*. 2026;6:28-35. DOI 10.28983/asj.y2026i6pp28-35.
6. Еребаева Р.С., Дидоренко С.В., Абугалиев

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Ananeva T. V., Serebryakova O. V. Soybean production trends in the world and Russia: a comparative analysis. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2025;39(2):80–86. (in Russ). DOI 10.53859/02352451_2025_39_2_80

ва А.И., Агеенко А.В. Сравнительный анализ качества семян коллекционных образцов сои *Glicine Max (L.) Merr.*, выращенных в условиях орошения и без орошения юго-востока республики Казахстан. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020;3(35):58-66. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11186

7. Иргалина Р.Ш. Эффективность возделывания сои в республике Башкортостан *Российский электронный научный журнал*. 2023;4(50):169-175. DOI: 10.31563/2308-9644-2023-50-4-169-175

8. Кошкарлова Т.С., Толоконников В.В. Результаты расширенной мобилизации исходного материала для селекции сои на Юге России. *Известия НВ АУК*. 2023;2(70):184-191. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-21.

9. Rashid Kurbanov, Veronika Panarina, Andrey Polukhin et al. Evaluation of Field Germination of Soybean Breeding Crops Using Multispectral Data from UAV. *Agronomy*. 2023;13(5):1348–1352. DOI 10.3390/agronomy13051348

10. Савенков В.П., Махонин В.Л., Кузьмина Е.Ю. Урожайность сортов сои в зависимости от агротехнологии посева и погодных условий вегетации в условиях лесостепи ЦФО России. *Кормопроизводство*. 2023;5:13-18. DOI 10.25685/krm.2023.5.2023.002

11. Утамбетов О.П., Бекбанов Б.А., Нагыметов О. Выделение скороспелых сортов сои для северных регионов Узбекистана. *Вестник науки и образования*. 2022;3(23):31-32.

12. Цепляев А.Н. Теоретическое обоснование динамики профильного пресс-катка сеялки для посева сои с гидрогелем на орошении. *Известия НВ АУК*. 2025;2(80):402-410. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-02-42

13. Шабалдас О.Г. Биохимический состав и пищевая ценность зерна сортов сои различных групп спелости, возделываемых в условиях юга России. *Пищевая метаинженерия*. 2025;3(4):73-87. DOI 10.37442/fme.2025.4.97



2. Butovets E. S., Klykov A. G., Lukyanchuk L. M. Yield of soy bean varieties under contrast weather conditions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025;25(5):678–689. (in Russ). DOI 10.32417/1997-4868-2025-25-05-678-689.
3. Vinogradov D.V., Solodyagina A.V., Evsenina M.V., Gureeva E.V. Influence of soybean seeding rate on yield and grain quality in the conditions of the non-black earth zone of Russia. *Bulletin of KSAU*. 2026;5:3–14. (in Russ). DOI 10.36718/1819-4036-2026-5-3-104
4. Volkova E.A., Smolyaninova N.O., Reimer V.V., Churilova K.S. Global soybean production trends (economic overview). *Economics of Agriculture of Russia*. 2026;5:136-142. (in Russ). DOI 10.32651/265-136.
5. Evsenina M.V., Vinogradov D.V. Assessment of the effectiveness of fungicides in soybean agrocenoses in the conditions of the south of the Non-Black Earth Region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2026;6:28-35. (in Russ). DOI 10.28983/asj.y2026i6pp28-35.
6. Yezhebeyeva R.S., Didorenko S.V., Abugalieva A.I., Ageenko A.V. Comparative analysis of seed quality between irrigated and non-irrigated treatments of the Glycine Max (L.) Merr. cultivar collection samples in climate of southeastern Kazakhstan. *Legumes and groat crops*. 2020;3(35):58-66. (in Russ). DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11186
7. Irgalina R.Sh. Effectiveness of soybean cultivation in the Republic of Bashkortostan. *Russian electronic scientific journal*. 2023;4(50):169-175. (in Russ). DOI: 10.31563/2308-9644-2023-50-4-169-175
8. Koshkarova T.S., Tolokonnikov V.V. Results of the extended mobilization of initial material for soybean breeding in the south of Russia. *Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2023;2(70):184-191. (in Russ). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-21.
9. Rashid Kurbanov, Veronika Panarina, Andrey Polukhin, et al. Evaluation of Field Germination of Soybean Breeding Crops Using Multispectral Data from UAV. *Agronomy*. 2023;13(5):1348–1352. DOI 10.3390/agronomy13051348
10. Savenkov V.P., Makhonin V.L., Kuzmina E.Yu. The productivity of soybean as affected by seeding techniques and weather conditions in the forest-steppe of the Central federal district of Russia. *Kormoproizvodstvo: scientific and production journal*. 2023;5:13-18. (in Russ). DOI 10.25685/krm.2023.5.2023.002
11. Utambetov O.P., Bekbanov B.A., Nagymetov O. Selection of precocious soybean varieties for the northern zones of Uzbekistan. *Vestnik nauki i obrazovaniya (Bulletin of Science and Education)*. 2022;3(23):31-32. (in Russ).
12. Tseplyaev A.N. Theoretical substantiation of the dynamics of the profile pre-roll of a sowing machine soybeans with hydrogel for irrigation. *Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2025;2(80):402-410. (in Russ). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-02-42
13. Shabalda O.G. Biochemical composition and nutritional value of soybean grain varieties of different ripeness groups cultivated in the southern regions of Russia. *FOOD METAENGINEERING*. 2025;3(4):73-87. (in Russ). DOI 10.7442/fme.2025.4.97

Authors' contribution:

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

The authors declare no conflict of interest.

Информация об авторах

Гуреева Елена Васильевна, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», с. Подвьязь, Рязанская обл., Россия elenagureeva@bk.ru

Виноградов Дмитрий Валериевич, д-р биол. наук, профессор, заведующий кафедрой агрономии и защиты растений, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия vdv-rz@rambler.ru

Солодыгина Анна Викторовна, научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», с. Подвьязь, Рязанская обл., Россия; соискатель кафедры агрономии и защиты растений ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия solodyagina.ana@yandex.ru

Author information

Elena V. Gureeva, Cand.Sc. (Agriculture), Leading Researcher of the Department of Breeding and Primary Seed Production, Institute of Seed Production and Agrotechnologies – a branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Podyavye village, Ryazan region, Russia elenagureeva@bk.ru

Dmitry V. Vinogradov, D.Sc. (Biology), Professor, Head of the Department of Agronomy and Plant Protection, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia vdv-rz@rambler.ru

Anna V. Solodyagina, Research Associate at the Department of Breeding and Primary Seed Production, Institute of Seed Production and Agrotechnologies – a branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Podyavye village, Ryazan region, Russia, candidate of the Department of Agronomy and Plant Protection, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia solodyagina.ana@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15.08.2026; одобрена после рецензирования 12.09.2026; принята к публикации 15.09.2026.

The article was submitted to the editorial office 15.08.2026; approved after review 12.09.2026; accepted for publication 15.09.2026.



СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 502.08
DOI: 10.36508/RSATU.2026.74.20.003

УСТАНОВЛЕНИЕ АСПЕКТОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ОСАЖДЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ПРОГНОЗНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ

Николай Яковлевич Илюшов¹✉, Сергей Максимович Угай¹

¹ Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства ФГБУН Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск, Россия

✉ kamchatka1234@rambler.ru

Аннотация

Проблемы и цель. Имеющиеся на сегодняшний день прогнозно-аналитические модели не учитывают специфические физические свойства загрязняющих веществ и не способны обеспечить достаточную точность при описании процессов гравитационного осаждения. В частности, методики не учитывают широту диапазона размеров частиц, их плотность, аэродинамические свойства. Целью работы являлась разработка усовершенствованной прогнозно-аналитической модели, учитывающей особенности осаждения твердых частиц, характерных для вентиляционных выбросов животноводческих комплексов.

Методология. На основе уравнений идеального газа и Сазерленда, закона Стокса, с учетом поправок Каннингема, разработана новая прогнозно-аналитическая модель, позволяющая с высокой точностью проводить исследования. Расчеты осуществлялись с помощью специальных программ, написанных для этой модели на языке численного моделирования GNU Octave.

Результаты. Выявлены основные зависимости изменения скорости осаждения твердых частиц от параметров выбросов, характеристик частиц и внешних условий. Особое внимание уделено влиянию плотности и размеров частиц на скорость гравитационного осаждения. Доказано, что скорость осаждения частиц в зависимости от их диаметра может измениться в 10000 раз, рост температуры окружающего воздуха снижает скорость осаждения на 25-30 %, различная плотность изменяет скорость осаждения в 2,6 раза. Учет поправки Каннингема позволяет сделать вывод, что скорость субмикронных частиц может увеличиваться до 8 раз. Интеграция уточненных факторов позволяет снизить ошибку прогнозирования концентраций в приземном слое на 20-35 %.

Заключение. Предложены уточненные параметры, необходимые для расчета скорости осаждения по закону Стокса и поправка Каннингема для различных классов загрязняющих частиц. На основе анализа расчетных данных разработана матрица усовершенствованной прогнозно-аналитической модели, включающей в себя параметризацию вязкости воздуха и расчет длины свободного пробега молекул газа. Предложенная модель формирует основу для дальнейшего исследования и совершенствования методов прогнозирования процессов рассеивания, что позволяет улучшить комплекс мероприятий по управлению качеством атмосферного воздуха в районах расположения животноводческих комплексов.

Ключевые слова: вентиляционные выбросы, загрязняющие вещества, гравитационное осаждение, плотность, вязкость, диаметр частиц, прогнозно-аналитическая модель

Для цитирования: Илюшов Н.Я., Угай С.М. Установление аспектов гравитационного осаждения загрязняющих веществ усовершенствованной прогнозно-аналитической моделью // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.12-20 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.74.20.003>

Original article

ESTABLISHING ASPECTS OF GRAVITATIONAL DEPOSITION OF POLLUTANTS
BY AN ADVANCED PREDICTIVE ANALYTICAL MODEL

Nikolay Ya. Ilyushov ¹✉, Sergey M. Ugai¹



¹Siber Research Institute of Agricultural Mechanization and Electrification of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk settlement, Russia

✉ kamchatka1234@rambler.ru

Annotation

Problem and purpose. The current forecast-analytical models do not consider the specific physical properties of pollutants and are not able to provide sufficient accuracy in describing processes of gravitational deposition. In particular, the methods do not consider the wide range of particle sizes, their density and aerodynamic properties. The goal of this work was to develop an improved forecast-analytical model that considers the specific features of the deposition of solid particles characteristic of ventilation emissions from livestock complexes.

Methodology. Based on the equations of the ideal gas and Sutherland, Stokes law, considering the Cunningham corrections, a new predictive-analytical model has been developed, which allows for high-precision research. The calculations were carried out using special programs written for this model in the GNU Octave numerical modeling language.

Results. The main dependencies of the change in the deposition rate of solid particles on the parameters of emissions, particle characteristics and external conditions have been identified. Special attention has been paid to the influence of particle density and size on the rate of gravitational deposition. It has been proven that the deposition rate of particles can vary by a factor of 10,000 depending on their diameter, and that an increase in ambient temperature can reduce the deposition rate by 25-30%. Additionally, the Cunningham correction suggests that the deposition rate of submicron particles can increase by up to 8 times. The integration of refined factors reduces the error in predicting concentrations in the surface layer by 20-35%.

Conclusion. The paper proposes refined parameters necessary for calculating the deposition rate according to the Stokes law and the Cunningham correction for various classes of polluting particles. Based on the analysis of the calculated data, an improved forecasting and analytical model has been developed, which includes the parameterization of air viscosity and the calculation of the mean free path of gas molecules. This model provides a foundation for further research and improvement of methods for predicting dispersion processes, which can enhance the management of air quality in livestock farming areas.

Key words: ventilation emissions, pollutants, gravitational deposition, density, viscosity, particle diameter, predictive analytical model

For citation: Ilyushov N. Ya., Ugai S. M. Establishing aspects of gravitational deposition of pollutants by an advanced predictive analytical model // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P.12-20 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.74.20.003>

Введение

Вентиляционные выбросы животноводческих комплексов имеют свои особенности, отличные от выбросов промышленных предприятий. Так, животноводческие вентиляционные выбросы обладают высокой долей биологических соединений, аммиака, сероводорода, мелкодисперсной органической пыли, летучих органических соединений. Значительная часть данных частиц обладает размерами от субмикронных до десятков микрон, что уже определяет разницу в поведении в процессах рассеивания и осаждения. Помимо этого, они имеют низкую температуру и высокую влажность, характеризуются нестационарностью из-за жизненного цикла животных и работы системы вентиляции, а также содержат значительное количество частиц сложного биогенного характера [1,2]. Имеющиеся на сегодняшний день модели применяют в основном упрощенные зависимости, не учитывающие влияние температуры воздуха, плотности частиц, поправки Каннингема, а также изменения вязкости воздуха при колебаниях температуры [3-6]. Все это приводит к систематическим ошибкам при оценке риска загрязнения территории вентиляционными выбросами и, особенно, от низких источников, характерных для животноводческих комплексов. Специфические механизмы осажде-

ния требуют разработки новых математических моделей прогнозирования данных процессов.

Материалы и методы исследования

Для разработки усовершенствованной прогнозно-аналитической модели процессов гравитационного осаждения вентиляционных выбросов использовались экспериментальные данные о составе, размерах и плотности частиц загрязняющих веществ, характерных для животноводческих комплексов. Диаметры исследуемых частиц варьировались от 0,5 до 50 мкм, а их плотность рассматривалась в диапазоне от 1000 до 2600 кг/м³. Для определения вязкости воздуха и ее влияния на скорость гравитационного осаждения принималось, что температура окружающего воздуха изменялась в диапазоне от -30 до +30° С [6,7,8].

Плотность воздуха определялась по уравнению идеального газа:

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T} \quad (1)$$

где ρ – плотность газа, кг/м³;

p – атмосферное давление, Па;

T – абсолютная температура, К;

R – газовая постоянная для воздуха, равная 287 Дж/(кг·К)



Расчет вязкости воздуха μ в широком диапазоне температур проводился по уравнению Сазерленда:

$$\mu(T) = \mu_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2} \cdot \frac{T_0 + S}{T + S} \quad (2)$$

где $\mu(T)$ – динамическая вязкость при температуре T , Па·с;

T – абсолютная температура, К;

μ_0 – вязкость при опорной температуре T_0 , Па·с;

T_0 – опорная температура, равная 273,15К;

S – константа Сазерленда, равная 110,4К.

Расчетная программа 1

```
%Программа для расчета вязкости воздуха m
function retval = m(input1, input2)
m0=input("вязкость при опорной температуре, Па*с")
T=input("абсолютная температура воздуха, К")
T0=input("опорная температура воздуха, К")
S=input("константа Сазерленда, К")
m=m0*(T/T0)^1.5*[(T0+S)/(T+S)]
disp("динамическая вязкость при температуре T, Па*с")
disp(m)
endfunction
```

Скорость гравитационного осаждения v_g для частиц диаметром более 1 мкм определялась в ламинарном режиме по закону Стокса [9,10]:

$$v_g = \frac{(\rho_p - \rho_a)gd^2}{18\mu} \quad (3)$$

где v_g – скорость гравитационного осаждения;

d – диаметр частицы, мкм;

ρ_p – плотность частицы, кг/м³; ρ_a – плотность воздуха, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²; μ – вязкость воздуха, Па·с.

Расчеты по формуле 3 проводились с помощью расчетной программы 2.

Расчетная программа 2

```
% Программа для расчета скорости гравитационного осаждения v_g
function retval = vg(input1, input2)
pp=input("плотность частицы, кг/м^3")
pa=input("плотность воздуха, кг/м^3")
g=input("скорость свободного падения, м/с^2")
d=input("диаметр частицы, м")
m=input("вязкость воздуха, Па*с")
vg=[(pp-pa)*g*d^2]/(18*m)
```

disp("скорость гравитационного осаждения, м/с")

disp(vg)

endfunction

Для более мелких частиц, то есть диаметр которых менее 1 мкм, расчеты по закону Стокса проводились с учетом поправки Каннингема [9,10]:

$$v_g = \frac{(\rho_p - \rho_a)gd^2}{18\mu} \cdot C_k \quad (4)$$

где C_k – поправка Каннингема, значение которой рассчитывалось по расчетной программе 3 и определяется по формуле [9,10]:

$$C_k = 1 + \frac{2\lambda}{d} \cdot \left(A_1 + A_2 \cdot \exp^{-A_3 \cdot \frac{d}{\lambda}} \right) \quad (5)$$

где: C_k – поправочный коэффициент Каннингема;

λ – средняя длина свободного пробега молекул газа, мкм;

d – диаметр частицы, мкм;

A_1, A_2, A_3 – экспериментально определённые коэффициенты, для воздуха: $A_1 = 1,257$;

$A_2 = 0,400$; $A_3 = 0,55$ [10,11,12].

Расчетная программа 3

```
%Программа для расчета коэффициента Каннингема Ck
function retval = Ck(input1, input2)
lambda=input("длина пробега частицы, мкм")
d=input("диаметр частицы, мкм")
A1=input("эмпирический коэффициент, равный 1,257 б/у")
A2=input("эмпирический коэффициент, равный 0,400 б/у")
A3=input("эмпирический коэффициент, равный 0,55 б/у")
e=input("основание натурального логарифма, б/у")
Ck=1+2*lambda/d*(A1+A2*exp^(-A3*d/lambda))
disp("значение коэффициента Каннингема, б/у")
disp(Ck)
endfunction
```

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе экспериментальных исследований и расчетов были определены значения плотности и вязкости воздуха в зависимости от изменения температуры окружающего воздуха от -30 до +30°С, данные о которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения плотности ρ и вязкости μ воздуха в зависимости от температуры окружающей среды

Температура, °С	Плотность ρ , кг/м ³	Вязкость μ , Па·с
-30	1,52	$1,46 \cdot 10^{-5}$
-20	1,40	$1,55 \cdot 10^{-5}$
-10	1,34	$1,64 \cdot 10^{-5}$
0	1,29	$1,72 \cdot 10^{-5}$



10	1,25	$1,78 \cdot 10^{-5}$
20	1,21	$1,82 \cdot 10^{-5}$
30	1,18	$1,85 \cdot 10^{-5}$

Размеры и данные о плотности частиц основных видов загрязняющих веществ вентиляционных выбросов животноводческих комплексов, собранные из научных источников, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные о размерах и плотности частиц основных загрязняющих веществ

Вид загрязняющего вещества	Типичный диаметр, мкм	Плотность, кг/м ³
Грубая пыль (корм, подстилка, навозные частицы)	10-50	1500-2600
PM10 (взвешенные частицы ≤ 10 мкм)	1,25-5	1500-2000
PM2.5 (тонкодисперсные частицы)	0,15-1,25	1200-1800
Общая взвешенная пыль (TSP)	0,5-50	1050-1200
Бактериальные аэрозоли	0,25-2,5	1100-1500
Споры плесневых грибов	1-5	1000-1500
Фрагменты эпителия, шерсти, органический детрит	5-40	900-1400
Эндотоксин, адсорбированный на частицах PM2.5–PM10	0,5-5	1000-1200
Капли аэрозоля аммиака/воды	0,25-10	950-1000

Эти данные позволяют определить основные факторы, влияющие на скорость осаждения частиц. График зависимости скорости осаждения частиц PM10, плотностью 1800 кг/м^3 от плотности и вязкости воздуха представлен на рисунке 1.

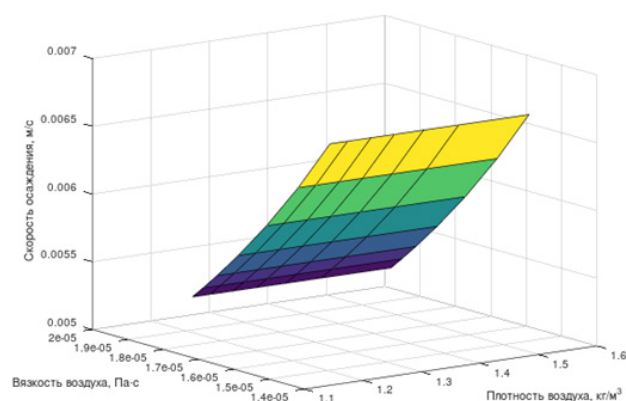


Рис. 1 – Зависимость скорости осаждения частиц PM10 от плотности и вязкости воздуха
Fig. 1 – Dependence of PM10 particle deposition rate on air density and viscosity

Анализ графика показывает, что скорость v зависит только от вязкости и практически не реагирует на изменения плотности воздуха. То есть температурная зависимость скорости v существует только через вязкость воздуха μ и при росте температуры воздуха от -30°C до $+30^\circ \text{C}$ динамическая вязкость увеличивается в среднем на 24 %, а кинематическая на 55 %. Рост вязкости воздуха приводит к уменьшению скорости осаждения частиц примерно на 20-30 %. Плотность воздуха в отличие от вязкости воздуха практически не оказывает влияния на скорость осаждения. Причина

этого в том, что в соответствии с законом Стокса скорость осаждения определяется не просто плотностью частиц или воздуха, а разностью их плотностей. С учетом того, что плотность первых практически в тысячу раз больше чем плотность воздуха, можно считать, что скорость осаждения зависит только от плотности загрязняющих частиц [13,14]. График зависимости скорости осаждения v от плотности частиц и от температуры окружающего воздуха представлен на рисунке 2.

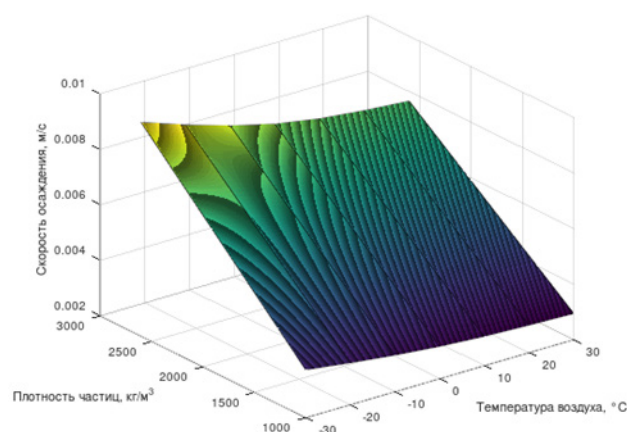


Рис. 2 – Зависимость скорости осаждения от плотности частиц и температуры воздуха
Fig. 2 – Dependence of settling velocity on particle density and air temperature

В соответствии с законом Стокса скорость осаждения частиц в зависимости от плотности частиц возрастает линейно. Расчеты и анализ графика на рисунке 2 показывают, что при возраста-

нии плотности частиц от 1000 до 2600 кг/м³ рост скорости возможен не более, чем в 2,6 раз. Изменение температуры от -30° С до +30° С приводят к увеличению вязкости и, соответственно уменьшению скорости осаждения примерно на 20 %. Наибольшее изменение скорости осаждения наблюдается при изменении диаметра частиц (рис. 3).

По закону Стокса скорость осаждения связана с диаметром частицы квадратичной зависимостью. При увеличении диаметра с 0,5 мкм до 50 мкм, то есть в 100 раз, скорость осаждения увеличивается в 10 000 раз. Следовательно, скорость осаждения загрязняющих частиц в первую очередь зависит от их диаметра, увеличение которого приводит к росту массы частицы и, соответственно, к увеличению скорости снижения. Плотность частиц по своему влиянию на скорость осаждения занимает второе место, а температуры – третье.

Для мельчайших объектов, диаметр которых меньше 1 мкм, в числитель формулы 3 вводится поправочный фактор Каннингема СК, корректирующий расчет силы сопротивления, действующий на мелкие частицы при их движении в атмосфере. Данный коэффициент помогает повысить точность расчетов при моделировании переноса и осаждения частиц в атмосфере. Данные о значениях коэффициента Каннингема при условии, что средняя длина свободного пробега молекул газа в атмосфере составляет 0,066 мкм или $6,6 \cdot 10^{-8}$ м [13,14], рассчитанные по формуле 5 с помощью расчетной программы 3 для основных размеров загрязняющих частиц, приведены в таблице 3.

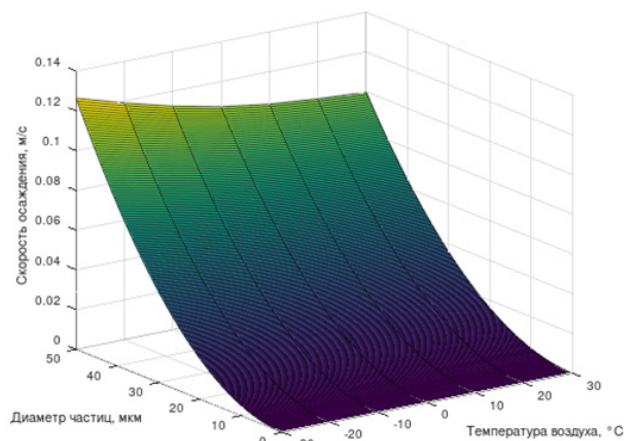


Рис. 3 – Зависимость скорости осаждения от диаметра частиц и температуры воздуха
Fig. 3 – Dependence of sedimentation rate on particle diameter and air temperature

Результаты расчетов с учетом поправки Каннингема показывают, что для частиц, диаметр которых меньше 1 мкм, скорость осаждения может отличаться от результатов расчетов по закону Стокса примерно от 3 до 18 раз, что также делает необходимым учет этих данных в усовершенствованной прогнозно-аналитической модели. График зависимости скорости осаждения от диаметра частиц и температуры воздуха, для наглядности построенный для частиц до 15 мкм диаметром до 15 мкм, приведен на рисунке 4.

Таблица 3 – Значения поправки Каннингема в зависимости от размеров частицы

d, мкм	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
Ск	17,64	9,32	4,02	2,31	1,66	1,26	1,13	1,06

Исследование графика показывает, что влияние коэффициента СК на скорость осаждения возрастает с уменьшением размеров частиц, что видно при сравнении графиков на рисунках 3 и 4. При нормальных условиях принято, что при d = 10-15 мкм поправку необходимо использовать, при d менее 1 мкм поправка с помощью данного коэффициента становится доминирующей; если частицы менее 0,1 мкм, то классическое уравнение Стокса (3) дает значительные погрешности [15].

Полученные результаты наглядно демонстрируют значимость физических свойств частиц загрязняющих веществ на скорость гравитационного осаждения. При этом расчеты позволили выявить ряд закономерностей, необходимых для корректировки прогнозирования концентрации загрязняющих веществ в приземном слое. Например, скорость осаждения частиц может изменяться в 10000 раз при увеличении диаметра частиц от 0,5 до 50 мкм. Увеличение плотности частиц способно привести к росту скорости осаждения примерно в 2,6 раза, а изменение вязкости воздуха в заданном диапазоне температур может

составить до 27 %, что приводит к снижению скорости осаждения примерно на 20-30 %. Это следует учитывать в районах с резко континентальным климатом. Доказано, что без учета поправки Каннингема скорость осаждения занижается, что приводит к существенным ошибкам в прогнозировании концентраций. Установлено, что скорость гравитационного осаждения загрязняющих частиц определяется тремя факторами: диаметром частиц, их плотностью и температурой окружающего воздуха.

На основании выводов исследования в GNU Octave была разработана прогнозно аналитическая модель, включающая в себя:

- параметризацию осаждения по vg в зависимости от температуры, размеров частицы и ее плотности;
- учёт температурно зависимых свойств воздуха;
- адаптивный выбор режима осаждения (Стокс / переходный / свободномолекулярный);
- интеграцию осаждения в уравнение адвекции диффузии.



При этом в усовершенствованной модели используются собственные функции расчёта вязкости, плотности, длины свободного пробега и скорости осаждения.

Матрица данной прогнозно-аналитической модели, позволяющая систематизировать факторы, а также автоматически осуществлять выбор физического режима и автоматического определения нужных формул, приведена в таблице 4.

Следует учитывать, что данная усовершенствованная модель имеет ряд ограничений в применении, связанных с физическими предположениями используемых уравнений, а также с особенностями реальных вентиляционных выбросов животноводческих комплексов [15]. Во-первых, модель основана на законе Стокса, который применим только в условиях ламинарного режима движения частиц, когда число Рейнольдса меньше 1. В случаях, когда Re больше 1, формула Стокса перестает корректно описывать движение частиц и поэтому необходимо использовать другие модели. Во-вторых, модель учитывает в основном молекулярную диффузию, поэтому при сильной турбулентности возможны ошибки в определении скорости осаждения. В-третьих, в модели практически не учитывается нестационарность выбросов и изменения параметров работы венти-

ляции. Кроме этого, модель рассматривает только сферическую форму частиц, хотя они могут иметь и неправильную форму, и наиболее точные результаты показывает для частиц размером более 0,1 мкм.

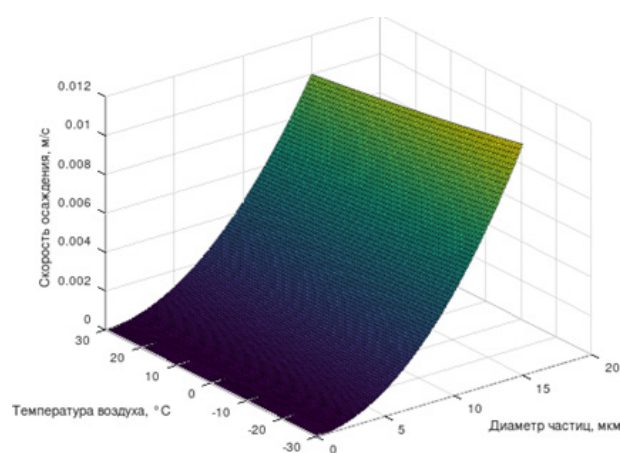


Рис. 4 – Зависимость скорости осаждения от диаметра загрязняющих частиц и температуры
Fig. 4 – Dependence of the sedimentation rate on the diameter of pollutant particles and temperature

Таблица 4 – Матрица усовершенствованной прогнозно-аналитической модели

Параметр	Физический смысл	Формула/зависимость	Режим осаждения	Влияние на скорость
Диаметр частицы d	Масса, сопротивление	$vg \propto d^2$	Стокс / переходный / свободно-молекулярный	Изменяет скорость в 10 000 раз
Плотность частицы ρ_p	Масса	$vg \propto (\rho_p - \rho_a)$	Стокс	Изменяет скорость до 2,6 раз
Плотность воздуха ρ_a	Архимедова сила	$\rho_a = p/(RT)$	Стокс	Влияние <1%
Вязкость воздуха μ	Сопротивление	$\mu(T)$ по Са-зерленду	Стокс	Уменьшает скорость на 20–30%
Температура T	Вязкость, плотность	через $\mu(T)$, $\rho(T)$	Все режимы	Рост $T \rightarrow$ рост $\mu \rightarrow$ снижение v
Длина свободного пробега λ	Скользкий режим	$\lambda(T, p)$	Переходный / свободномолекулярный	Определяет Sk
Поправка Каннингема Sk	Коррекция сопротивления	формула (5)	Переходный	Увеличивает v до 18 раз
Класс частиц	Биогенные, пыль, аэрозоли	Таблица 2	Все	Определяет диапазон d, ρ_p
Режим движения	Ламинарный / переходный	$Re < 1$	Стокс	Выбор формулы
Итоговая скорость v	Результат	Формула (3) или (4)	Все	Вводится в модель переноса



Тем не менее, данная усовершенствованная прогнозно-аналитическая модель во многом согласуется с двумя наиболее распространенными на сегодняшний день моделями AERMOD и CALPUFF, использующимися для расчета концентраций загрязняющих веществ в приземном слое. Верификация моделей показывает, что при диаметре частиц более 10 мкм наблюдается наиболее полное совпадение результатов для данных моделей. Для частиц размером от 1 до 10 мкм, усовершенствованная модель дает более точные результаты, и ошибка прогнозирования снижается примерно на 20-35 %. А для частиц размером от 0,1 до 1 мкм точность расчетов увеличивается в 3-8 раз. Столь высокие результаты достигаются благодаря учету поправки Каннингема, влияния температуры, вязкости и субмикронных эффектов. Следовательно верификация подтверждает, что усовершенствованная прогнозно-аналитическая модель может быть интегрирована в прогнозирование качества атмосферного воздуха.

Заключение

Исследование показало, что гравитационное осаждение загрязняющих веществ, характерных для вентиляционных выбросов животноводческих комплексов, обладает высокой чувствительностью к физическим параметрам частиц и термодинамическим характеристикам воздуха. На основании выявленных зависимостей сделан вывод, что усовершенствованная прогнозно-аналитическая модель в отличие от традиционных должна включать в себя:

- температурно-зависимую вязкость воздуха, рассчитанную по уравнению Сазерленда;
- плотность воздуха, определяемую по уравнению идеального газа;
- длину свободного пробега молекул воздуха, необходимую для корректного учёта молекулярных эффектов;
- поправку Каннингема, существенно влияющую на осаждение субмикронных частиц;
- адаптивный выбор режима осаждения для частиц различного размера.

Верификация с моделями AERMOD и CALPUFF позволяют сделать вывод, что разработанная математическая модель снижает ошибку определения концентрации загрязняющих частиц в приземном слое на 20-35 %. Это позволяет использовать ее для уточнения санитарно-защитных зон, оценки риска загрязнения, проектирования усовершенствованных систем вентиляции и очистки воздуха, прогнозирования качества воздуха. Дальнейшие исследования в данной области будут направлены на выявление дополнительных факторов, влияющих на скорость осаждения и атмосферной депозиции в целом.

Список источников

1. Теунова Н. В., Кешева Л. А. Птицеводческий комплекс как источник загрязнения атмосферного воздуха. *Международный научно исследовательский журнал*. 2024;12:40–47. DOI: 10.60797/IRJ.2024.150.46.
2. Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Техничко тех-

нологические решения очистки отработанного воздуха птицеводческих предприятий. *АгроЭкоИнженерия*. 2023;1(114):115–128.

3. Сысоева Е. В., Гельманова М. О. Методы расчёта рассеивания загрязняющих веществ в городской атмосфере. *Вестник МГСУ*. 2022;17(8):1027–1045. DOI: 10.22227/1997 0935.2022.8.1027 1045.

4. Bakels L., Blaschek M., Dütsch M. et al. LARA: a Lagrangian Reanalysis based on ERA5 spanning from 1940 to 2023. *Earth System Science Data*. 2025;17(9):4569–4585. DOI: 10.5194/essd 2025 26.

5. Makkaroon P., Tong D. Q., Li Y. et al. Development and Evaluation of a North America Ensemble Wildfire Air Quality Forecast: Application to the 2020 Western U.S. Gigafire. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2023;128(22). DOI: 10.1029/2022jd037298.

6. Martin Cohron, Ryan Drover Devin, Cavero Kathleen Purvis-Roberts. *Characterization of Particle Size Distributions and Water-Soluble Ions in Particulate Matter Measured at a Broiler Farm*. Agriculture, 2023, 13(7), 1284. DOI: 10.3390/agriculture13071284.

7. Neyva Maria Lopes Romeiro, Eliandro Rodrigues Cirilo. Chimney Height, a Determining Factor in the Dispersion of Pollutants and Their Concentration. *World Journal of Engineering and Technology*. 2021;9(1). DOI: 10.4236/wjet.2021.91013.

8. Hicks B. B., Baldocchi D. D., Meyers T. P., Hosker R. P., Matt D. R. A preliminary multiple resistance routine for deriving dry deposition velocities from measured quantities. *Water, Air and Soil Pollution*. 1987;36(3–4):311–330. DOI: 10.1007/BF00229675.

9. Припачкин Д. А., Высоцкий В. Л., Будыка А. К. Влияние условий моделирования на оценку скорости сухого осаждения аэрозольных частиц на сильно неоднородные подстилающие поверхности. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2024;60(2). DOI: 10.31857/S0002351524020048.

10. Сильвен Мейе, Лоран Мену, Аринэ Чолакян, Ромен Пеннель. AerSett v1.0: простая и понятная модель скорости оседания крупных сферических атмосферных аэрозолей. *Geoscientific Model Development*. 2023;16:1119–1127, DOI:10.5194/gmd-16-1119-2023

11. Sotiris Mallios. Effects of dust particle sphericity and orientation on their gravitational settling in the earth's atmosphere. *Journal of Aerosol Science*. 2020. DOI:10.1016/J.JAEROSCI.2020.105634

12. Volodymyr Bulgakov, Aivars Aboltins. Research on gas dynamic flows in poultry house lateral ventilation system using cfd modelling. *22nd International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings*. DOI:10.22616/ERDEV.2023.22.TF164

13. Седяров О. И., Бородин Е. С. Моделирование распространения загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы с учётом влияния застройки и рельефа местности. *Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина*. 2022. DOI: 10.37816/2713 0789 2022 2 2(4) 8 25.

14. Hosni H. S., Krichen M. K., Chérif H. C. A comprehensive review of Gaussian atmospheric dispersion models: current usage and future



perspectives. *Euro Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2023;8:219–242. DOI: 10.1007/s41207 023 00354.

15. Khaled S. M. Essa, Taha H. M. Comparison between analytical solution of advection diffusion

equation and Gaussian plume model in three dimensions through different stabilities. *Revue Roumaine de Chimie*. 2025;70(1–2):83–91. DOI: 10.33224/rrch.2025.70.1 2.08.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Teunova N. V., Kesheva, L. A. Poultry complex as a source of air pollution. *International Research Journal*. 2024;12:40–47. (in Russ.). DOI: 10.60797/IRJ.2024.150.46.
2. Plaksin I. E., Trifanov, A. V. Technical and technological solutions for cleaning the exhaust air from poultry enterprises. *AgroEcoEngineering*. 2023;1(114):115–128. (in Russ.).
3. Sysoeva E. V., Gelmanova M. O. Methods for calculating the pollutants dispersion in the urban atmosphere. *Vestnik MGSU*. 2022;17(8):1027–1045. (in Russ.). DOI: 10.22227/1997 0935.2022.8.1027 1045.
4. Bakels L., Blaschek M., Dütsch M. et al. LARA: a Lagrangian Reanalysis based on ERA5 spanning from 1940 to 2023. *Earth System Science Data*. 2025;17(9):4569–4585. DOI: 10.5194/essd 2025 26.
5. Makkaroon P., Tong D. Q., Li Y. et al. Development and Evaluation of a North America Ensemble Wildfire Air Quality Forecast: Application to the 2020 Western U.S. Gigafire. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2023;128(22). DOI: 10.1029/2022jd037298.
6. Martin Cohron, Ryan Drover Devin, Cavero Kathleen Purvis-Roberts. Characterization of Particle Size Distributions and Water-Soluble Ions in Particulate Matter Measured at a Broiler Farm. *Agriculture*, 2023, 13(7), 1284. DOI: 10.3390/agriculture13071284.
7. Neyva Maria Lopes Romeiro, Eliandro Rodrigues Cirilo. Chimney Height, a Determining Factor in the Dispersion of Pollutants and Their Concentration. *World Journal of Engineering and Technology*. 2021;9(1). DOI: 10.4236/wjet.2021.91013.
8. Hicks B. B., Baldocchi D. D., Meyers T. P., Hosker R. P., Matt D. R. A preliminary multiple resistance routine for deriving dry deposition velocities from measured quantities. *Water, Air and Soil Pollution*. 1987;36(3–4):311–330. DOI: 10.1007/BF00229675.
9. Pripachkin, D. A., Vysotsky, V. L., & Budyka, A. K. Influence of modeling conditions on the estimation of the dry deposition velocity of aerosols on highly inhomogeneous surfaces. *Izvestiya RAN. Physics of Atmosphere and Ocean*. 2024;60(2). (in Russ.). DOI: 10.31857/S0002351524020048.
10. Sylvain Meillère, Laurent Menut, Arine Cholakian, and Romain Pénel. AerSett v1.0: a simple and intuitive model of the settling velocity of large spherical atmospheric aerosols. *Geoscientific Model Development*. 2023;16:1119–1127, DOI:10.5194/gmd-16-1119-2023
11. Sotiris Mallios. Effects of dust particle sphericity and orientation on their gravitational settling in the earth's atmosphere. *Journal of Aerosol Science*. 2020. DOI:10.1016/J.JAEROSCI.2020.105634
12. Volodymyr Bulgakov, Aivars Aboltins. Research on gas dynamic flows in poultry house lateral ventilation system using cfd modelling. *22nd International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings*. DOI:10.22616/ERDEV.2023.22.TF164
13. Sedlyarov O. I., Borodin E. S. Modeling the dispersion of pollutants in the surface layer of the atmosphere, taking into account the influence of buildings and terrain. *Russian State University named after A. N. Kosygin*. 2022. (in Russ.). DOI: 10.37816/2713 0789 2022 2 2(4) 8 25.
14. Hosni H. S., Krichen M. K., Chérif H. C. A comprehensive review of Gaussian atmospheric dispersion models: current usage and future perspectives. *Euro Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2023;8:219–242. DOI: 10.1007/s41207 023 00354.
15. Khaled S. M. Essa, Taha H. M. Comparison between analytical solution of advection diffusion equation and Gaussian plume model in three dimensions through different stabilities. *Revue Roumaine de Chimie*. 2025;70(1–2):83–91. DOI: 10.33224/rrch.2025.70.1 2.08.

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

Илюшов Николай Яковлевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства ФГБНУ Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск, Россия, kamchatka1234@rambler.ru

Угай Сергей Максимович, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства ФГБНУ Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск, Рос-

**Author Information**

Nikolay Ya. Ilyushov, Cand.Sc. (Engineering), Leading Researcher, Sibir Research Institute of Agricultural Mechanization and Electrification of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk settlement, Russia, kamchatka1234@rambler.ru

Sergey M. Ugay, D.Sc. (Engineering), Chief Researcher, Sibir Research Institute of Agricultural Mechanization and Electrification of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk settlement, Russia

Статья поступила в редакцию 3.08.2026; одобрена после рецензирования 3.09.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 3.08.2026; approved after reviewing 3.09.2026; accepted for publication 16.09.2026





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.491
DOI: 10.36508/RSATU.2026.36.11.004

**ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АГРОХИМИКАТОВ
В УСЛОВИЯХ ЮГА НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**

Олеся Николаевна Капитулина¹✉, Карина Рубиновна Лупова¹, Алексей Дмитриевич Виноградов¹

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

✉ olesyakapitulina@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Для эффективного развития картофелеводства в условиях юга Нечерноземья необходим комплексный подход. Особая роль при этом должна принадлежать системе питания растений. Картофель предъявляет повышенные требования к питательным веществам, именно уровень обеспеченности картофеля элементами питания, их соотношение, формы и сроки внесения во многом определяют величину урожая, качество клубней, устойчивость растений к болезням и неблагоприятным условиям среды. Традиционная система удобрения картофеля во многих хозяйствах ограничивается внесением основной дозы удобрений перед посадкой. Однако такой подход не всегда способен полностью удовлетворить потребности культуры. В сложившихся условиях необходимо уделять больше внимания использованию альтернативных легкоусвояемых удобрений, особенно в условиях Нечерноземной зоны, где погодные факторы, особенности почв и слабая корневая система картофеля ограничивают использование питательных веществ из почвы. Именно поэтому всё большее значение приобретают подкормки в период вегетации, в том числе некорневые. Через листовую поверхность растения способны быстро усваивать необходимые элементы, особенно в критические периоды роста, когда требуется оперативная корректировка питания. Проблема разработки программы минерального питания картофеля по фазам вегетации является актуальной и научно обоснованной. Районирование новых отечественных сортов диктует необходимость изучения их реакции на внесение удобрений в конкретных почвенно-климатических условиях. Цель исследований – изучение влияния агрохимикатов Биостим Старт и Полидон Био Гумат Супер на урожайность и качество картофеля в условиях юга Нечерноземной зоны.

Методология. Закладка полевого опыта (2025-2026 гг.) проводилась на серых лесных тяжелосуглинистых почвах юга Нечерноземной зоны с применением систематического размещения делянок (учетная площадь – 100 м²) при четырехкратной повторности. Для расчета урожайности, оценки качества продукции и рентабельности производства анализировали фенологию основных фаз развития культуры, показатели фотосинтетической деятельности растений в агроценозе, структурные элементы урожая. Схема опыта включала пять вариантов обработки агрохимикатами. Проводили обработку клубней перед посадкой и внекорневые обработки агрохимикатами Биостим Старт и Полидон Био Гумат Супер.

Результаты. Внесение исследуемых удобрений оказывает влияние на скорость наступления фенологических фаз развития культуры. Даты наступления фаз развития на вариантах опыта наступали быстрее, чем на контроле, динамика наступления фаз развития на опытных вариантах превышала контроль на 4,9 %. Отмечена положительная динамика роста и развития сортов картофеля от применения исследуемых удобрений на всех вариантах. Более эффективен вариант применения удобрений в комплексе, который составил прибавку: высота стебля – 18,4 %, сорт Колобок и 27,0 %, сорт Краса Мещеры; количество стеблей – 12,8 %, сорт Колобок и 9,8 %, сорт Краса Мещеры; масса ботвы – 33,1 %, сорт Колобок и 28,6 %, сорт Краса Мещеры. Увеличение площади листовой поверхности: на сорте Колобок – 53,8 тыс.м²/га (превышение контроля 15,9 %), на сорте Краса Мещеры – 55,1 тыс.м²/га (превышение контроля 16,0 %). Масса клубней с 1 растения колебалась от 438,7 до 475,2 г (Колобок) и от 497,4 до 547,4 г (Краса Мещеры), что составило разницу 36,5 г и 50,0 г. Наиболее отзывчивыми оказались также к варианту с комплексным внесением удобрений: на сорте Колобок +8,3 %, на сорте Краса Мещеры +10,0 %. Клубневая продуктивность сорта Краса Мещеры + 32,5 %, сорта Колобок + 23,9 %. Максимальная продуктивность отмечена на вариантах с комплексным применением удобрений: на сорте Колобок 5,2 т/га, на сорте Краса



Мещеры – 3,8 т/га. Применяемые удобрения влияют на увеличение содержания крахмала: на сорте Колобок (на 0,4-1,5 %), на сорте Краса Мещеры (на 0,4-1,9 %); содержание сухого вещества от 0,2 до 1,3 %; повышение содержания нитратов незначительно, в пределах 45,4-55,4 мг/кг; содержание витамина С в клубнях существенно не менялось. Все варианты опыта показали увеличение рентабельности производства картофеля. Самая высокая – на варианте с комплексным внесением удобрений, увеличение рентабельности составило 75,0-80,9 %.

Заключение. Предпосадочная обработка клубней картофеля агрохимикатом Биостим Старт (норма расхода препарата 0,7 л/т, норма расхода рабочей жидкости 30 л/т) и двухкратное опрыскивание в фазу полных всходов и в фазу бутонизации агрохимикатом Полидон Био Гумат Супер (норма расхода препарата 0,3 л/га, норма расхода рабочей жидкости 200 л/га) эффективны в технологии возделывания картофеля в условиях юга Нечерноземной зоны, и обеспечивают достоверную прибавку урожая, повышая его качество и рентабельность производства.

Ключевые слова: картофель, агрохимикаты, продуктивность, предпосевная обработка, некорневая подкормка

Для цитирования: Капитулина О.Н., Лупова К.Р., Виноградов А.Д. Продуктивность сортов картофеля при использовании агрохимикатов в условиях юга Нечерноземья // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т. 18, № 3, С.21-32 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.36.11.004>

Original article

POTATO PRODUCTIVITY WHEN USING AGRICHEMICALS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH NON-CHERNOZEM ZONE

Olesya N. Kapitulina¹✉, Karina R. Lupova¹, Alexey D. Vinogradov¹

¹ Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia

✉ olesyakapitulina@yandex.ru

Abstract.

Problem and purpose. For the effective development of potato farming in the southern part of the Non-Black Earth Region, a comprehensive approach is required. A special role in this should be assigned to the plant nutrition system. Potatoes have high requirements for nutrients; it is the level of potato supply with essential nutrients, their ratio, forms, and timing of application that largely determine the yield, the quality of tubers, and the plants' resistance to diseases and unfavorable environmental conditions. The traditional potato fertilization system in many farms is limited to applying the main dose of fertilizer before planting. However, this approach is not always capable of fully meeting the crop's needs. Under the current conditions, it is necessary to pay more attention to the use of alternative, easily digestible fertilizers, especially in the Non-Black Earth Zone, where weather factors, soil characteristics, and the potato's weak root system limit the use of nutrients from the soil. That is why the use of such fertilizers is becoming increasingly important.

Methodology. The field experiment (2025–2026) was conducted on gray forest heavy loamy soils in the southern part of the Non-Chernozem zone, using a systematic arrangement of plots (accounting area — 100 m²) with four repetitions. To calculate the yield, assess the quality of the product, and evaluate the profitability of production, we analysed the phenology of the main phases of crop development, the indicators of the photosynthetic activity of plants in the agrocenosis, and the structural elements of the crop. The experimental design included five treatment options with agrochemicals. The tubers were treated before planting, and foliar treatments were carried out using the agrochemicals Biostim Start and Polidon Bio Humate Super.

Results. The application of the studied fertilizers affects the speed at which phenological phases of crop development occur. The dates of phase onset in the experimental variants were earlier than in the control; the dynamics of phase onset in the tested variants exceeded the control by 4.9%. A positive trend in the growth and development of potato varieties was observed as a result of applying the studied fertilizers across all variants. The combined use of fertilizers is more effective, resulting in the following increases: stem height — 18.4 % for the Kolobok variety and 27.0 % for the Krasa Meshcherya variety; number of stems — 12.8 % for the Kolobok variety and 9.8 % for the Krasa Meshcherya variety; foliage mass — 33.1 % for the Kolobok variety and 28.6 % for the Krasa Meshcherya variety. Increase in leaf surface area: for the Kolobok variety — 53.8 thousand m²/ha (exceeding the control by 15.9 %), for the Krasa Meshcherya variety — 55.1 thousand m²/ha (exceeding the control by 16.0 %). The weight of tubers from one plant ranged from 438.7 to 475.2 g (Kolobok) and from 497.4 to 547.4 g (Krasa Meshcherya), with a difference of 16.5 g and 50.0 g, respectively.

Conclusion. Preplanting treatment of potato tubers with the agrochemical Biostim Start (application rate: 0.7 l/t; working liquid rate: 30 l/t) and two-time spraying during the full emergence phase and the budding phase with the agrochemical Polidon Bio Humate Super (application rate: 0.2 l/ha; working liquid rate: 200 l/ha) are effective in potato cultivation technology in the southern part of the Non-Chernozem Zone; they provide a significant yield increase, improving the quality of the crop and the profitability of production.



Key words: potatoes, agrochemicals, productivity, pre-sowing treatment, foliar feeding

For citation: Kapitulina O.N., Lupova K.R., Vinogradov A.D. Potato productivity when using agrochemicals in the conditions of the south Non-Chernozem Zone // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No.3, P 21-32 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.36.11.004](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.36.11.004)

Введение

Картофель занимает особое место в структуре сельского хозяйства России и по праву считается одной из главнейших сельскохозяйственных культур. Картофель широко используется как продовольственная культура, отличающаяся весомой пищевой ценностью, универсальностью применения, а также хозяйственной значимостью. Во многих регионах страны картофель – стратегически важное направление растениеводства, способное обеспечивать население продовольствием, создавать сотни рабочих мест в сельской местности и формировать устойчивую экономическую базу аграрных территорий. При благоприятных условиях выращивания и достаточном уровне агротехники картофель способен давать высокий урожай, а вместе с ним и большую экономическую прибыль, нередко превосходящую прибыльность других полевых культур [5].

Отрасль картофелеводства – перспективна, но в настоящее время производство картофеля в России уменьшается, что связано с сокращением доли площадей у крупных сельскохозяйственных производителей и увеличением в частном секторе [7]. Особенно заметны проблемы в специализированных хозяйствах, где снижение производства связано с ограниченной технической оснащенностью,

а также с недостаточно развитой системой хранения, переработки и реализации продукции. Проблемой является также дефицит качественного сертифицированного семенного материала. Во многих хозяйствах на посадку используют клубни многолетних репродукций, нередко поражённые фитопатогенами, что всецело снижает его продуктивность и качественные показатели.

Сельскохозяйственный товаропроизводитель остро нуждается в высокопродуктивных сортах картофеля раннего срока созревания, пригодных к механизированному возделыванию и уборке, характеризующихся высоким качеством клубней и комплексной устойчивостью к вредным организмам [12].

Отсутствие современных инновационных форм организации производства и инвестирования, устаревшая материально-техническая база, несовершенная система производства, хранения и переработки приводит к тому, что регионы, где выращивается картофель, утрачивают свои позиции. Рязанская область – не исключение [6].

Статистические данные за последние десятилетия 2000-2025 годов показывают недостаточную динамику основных показателей производства картофеля в РФ (рис. 1)

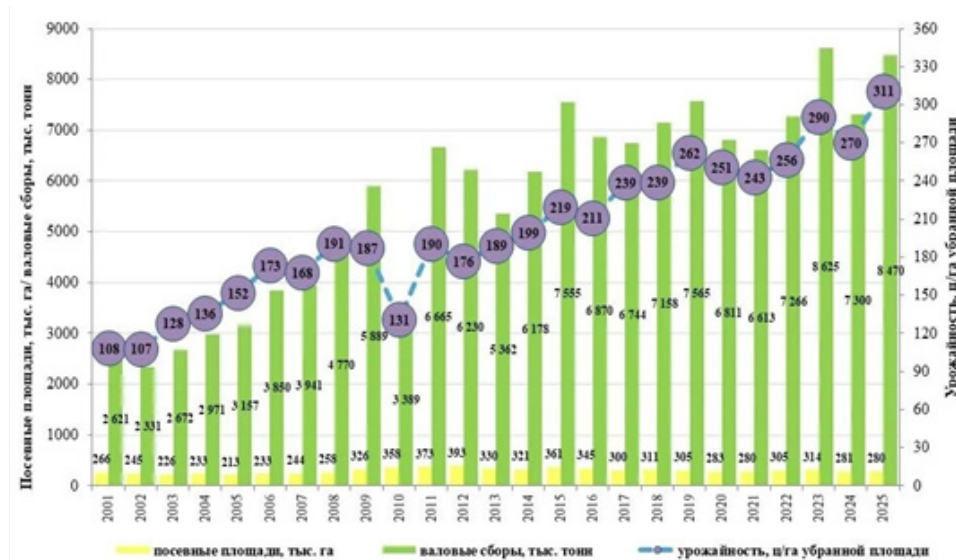


Рис. 1 – Основные показатели производства картофеля в хозяйствах всех категорий РФ [11]
Fig. 1 – The main indicators of potato production in farms of all categories in the Russian Federation [11]

Для эффективного развития картофелеводства необходим комплексный подход. Особая роль при этом должна принадлежать системе питания растений. Именно уровень обеспеченности картофеля элементами питания, их соотношение, формы и сроки внесения во многом определяют величину урожая, качество клубней, устойчивость растений к болезням и неблагоприятным условиям среды. В условиях существенного роста стоимости минеральных удобрений и минимизации объемов применения органических удобрений, обусловленной

деградацией животноводческой отрасли, а также технологическими и логистическими сложностями их транспортировки и внесения, возрастает актуальность расширения практики использования альтернативных видов удобрений [2].

Картофель характеризуется слаборазвитой корневой системой, в связи с чем для достижения высокой продуктивности культуры требуется обеспечение повышенного уровня легкоусвояемых элементов питания, компенсируемого посредством внесения соответствующих удобрений. В



большей степени картофель испытывает потребность в макроэлементах. Особенно интенсивно элементы питания усваиваются в период бутонизации и цветения, когда происходит активное нарастание ботвы и формирование клубней. Следовательно, питание картофеля должно быть не только достаточным по общему уровню, но и правильно организованным по фазам развития растения [8].

Для растений картофеля особенно важно соблюдать дозы вносимых удобрений NPK на всех типах почв в соотношении: 1:1,5:1,8. Азот, фосфор и калий являются основными элементами минерального питания картофеля [3].

Среди микроэлементов, играющих важную роль в питании растений картофеля – сера, бор, молибден, цинк, марганец, железо и медь.

Наиболее распространенные виды удобрений, применяемых при возделывании картофеля: азотные – аммиачная селитра (34 % д.в.), мочевины (46 % д.в.); фосфорные – двойной суперфосфат (45-47 % д.в.); калийные – хлористый калий (до 60 % д.в.). Из-за вредного действия хлора хлористый калий рекомендуется применять только под зяблевую вспашку. Сложные удобрения, содержащие основные элементы питания: нитроаммофоска (N – 17 %, P – 17 %, K – 17 %); нитрофоска (N – 16 %, P – 11 %, K – 14 %) [4].

Традиционная система удобрения картофеля во многих хозяйствах ограничивается внесением основной дозы минеральных и органических удобрений перед посадкой. Однако такой подход не всегда способен полностью удовлетворить потребности культуры, особенно в условиях Нечерноземной зоны, где погодные факторы, особенности почв и слабая корневая система картофеля ограничивают использование питательных веществ из почвы. Именно поэтому всё большее значение приобретают подкормки в период вегетации, в том числе некорневые. Через листовую поверхность растения способны быстро усваивать необходимые элементы, особенно в критические периоды роста, когда требуется оперативная корректировка питания [1, 8].

Наряду с макроэлементами всё большее внимание уделяется микроэлементам. Хотя потребность в них сравнительно невелика, их физиологическая роль весьма значима. Они участвуют в ферментативных реакциях, усиливают фотосинтез, ускоряют прохождение фенологических фаз, способствуют лучшему клубнеобразованию и повышают устойчивость растений к неблагоприятным условиям [9].

Чтобы культуры в полном объеме получали элементы питания, они должны находиться в активной форме. Особенно эффективны микроэлементы в хелатной форме. Хелаты представляют собой комплексные соединения, в которых элемент находится в доступной для растения, устойчивой и хорошо усваиваемой форме. Эффективность усвоения микроэлементов существенно повышается при их применении в виде комплексных солей, образованных с органическими кисло-

тами – комплексонами. В агрономической практике широко используются такие комплексоны, как диэтилентриаминпентауксусная кислота (ДТПА), этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) и оксиэтилидифосфоноуксусная кислота (ОЭДФ).

Указанные соединения характеризуются высокой водорастворимостью, низкой токсичностью, устойчивостью в широком диапазоне значений pH, а также способностью к эффективному поглощению как корневой системой растений, так и листовой поверхностью. При внесении в почву комплексоны (ДТПА, ЭДТА, ОЭДФ) обеспечивают трансформацию труднодоступных форм микроэлементов в биологически доступную форму, пригодную для ассимиляции растениями.

Хелаты микроэлементов представляют собой водорастворимые органические соли; при этом в водных средах не наблюдается значительного диссоциативного расщепления их молекул на ионы. Данная особенность обуславливает существенное отличие хелатных форм от неорганических (минеральных) солей: микроэлементы в хелатной форме практически не иммобилизуются в почвенном поглощающем комплексе (ППК) и сохраняют доступность для растений в течение продолжительного периода времени.

Предпосадочная обработка клубней растворами хелатов и обработка растений в период вегетации позволяют существенно повысить урожай, снизить поражаемость болезнями и улучшить сохранность продукции при хранении. Это делает хелатные микроудобрения важным элементом современной технологии выращивания картофеля.

Некорневые подкормки представляют собой один из наиболее перспективных приёмов оптимизации питания картофеля. В фазу бутонизации и начала цветения растение особенно чувствительно к недостатку элементов питания. В этот период проведение листовой диагностики позволяет определить скрытый дефицит макро- и микроэлементов и оперативно устранить его с помощью опрыскивания. Практика показывает, что однократное или двукратное применение комплексных удобрений в наиболее ответственные фазы развития растений является экономически оправданным и агрономически эффективным [5, 10].

Серьёзное значение имеет вопрос качества и безопасности картофеля. Современное производство должно обеспечивать получение продукции, безопасной для здоровья человека. Ключевым показателем является содержание нитратов в клубнях. Избыточные дозы минеральных удобрений, особенно азотных, могут приводить к повышенному накоплению нитратов. Следовательно, одна из основных задач агронома состоит не в простом увеличении доз удобрений, а в создании сбалансированной системы питания, обеспечивающей высокий урожай без ухудшения качества продукции [2].

Анализ научных данных показывает, что картофель является высоко отзывчивой на удобрения культурой, для которой особенно важно сбалансированное питание на протяжении всей вегетации.



Простое внесение удобрений под посадку уже не может считаться достаточной мерой для реализации потенциала современных сортов. Картофель имеет растянутый период поглощения элементов питания, а их состав меняется при переходе от одной стадии онтогенеза к другой. Поэтому важным является разработка программы минерального питания картофеля с учётом его потребления по вегетации. Только комплексный подход позволяет повысить урожайность картофеля, улучшить качество клубней, увеличить содержание крахмала, снизить поражённость болезнями и обеспечить получение экологически безопасной продукции.

Проблема разработки программы минерального питания картофеля по фазам вегетации является актуальной и научно обоснованной. Районирование новых отечественных сортов диктует необходимость изучения их реакции на внесение туков в конкретных почвенно-климатических условиях.

Имеется большое количество научных исследований по применению удобрений при возделывании картофеля. Однако недостаточно сведений о применении удобрений в зависимости от потребностей культуры в различные фазы вегетации в условиях конкретной климатической зоны.

Цель исследований – изучение эффективности применения отдельных элементов технологии при возделывании сортов картофеля применительно в условиях Юга Нечерноземья.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты были проведены в 2025 и 2026 годах на территории Рязанской области на серых лесных почвах тяжёлосуглинистого гранулометрического состава. Обеспеченность опытного участка подвижными формами фосфора и калия характеризовалась как средняя: содержание P_2O_5 составило 15,4 мг/100 г почвы, K_2O – 13,2 мг/100 г почвы). Реакция почвенного раствора была среднекислая (РН – 5,39). Гидролитическая кислотность в пахотном горизонте находилась на среднем уровне и варьировала в диапазоне 1,56–1,78 мг-экв/100 г почвы; при увеличении глубины залегания горизонта отмечалось существенное снижение данного показателя.

Объект исследований – картофель сортов Колубок, Краса Мещеры.

В опыте изучали действие агрохимикатов Биостим Старт и Полидон Био Гумат Супер.

Полевой опыт заложен по схеме: 1) контроль (без обработок); 2) предпосадочная обработка клубней Биостим Старт (норма расхода препарата 0,7 л/т, норма расхода рабочей жидкости 30 л/т); 3) предпосадочная обработка клубней Биостим Старт (0,7 л/т, 30 л/т) в комплексе с опрыскиванием в фазу начала ветвления стебля Полидон Био Гумат Супер (0,3 л/га, норма расхода рабочей жидкости 200 л/га); 4) двукратное опрыскивание растений в фазу полных всходов и в фазу бутонизации Полидон Био Гумат Супер (0,3 л/га, 200 л/га); 5) Комплексная обработка в виде предпосадочной обработки клубней Биостим Старт (0,7 л/т, 30 л/т) и двукратное опрыскивание

в фазу полных всходов и в фазу бутонизации Полидон Био Гумат Супер (0,3 л/га, 200 л/га).

Биостим Старт. Состав: N – 4,5 %, P_2O_5 – 5 %, K_2O – 2,5 %, MgO – 1,0 %, Mn – 0,2 %, Zn – 0,2 %, Cu – 0,1 %, B – 0,1 %, Mo – 0,01 %, свободные аминокислоты растительного происхождения – 5,5 %, полисахариды – 7 %. Биостим Старт содержит макро (NPK) и микроэлементы (Mn, Cu, B, Mo, Zn, MgO), аминокислоты растительного происхождения и полисахариды в тщательно сбалансированном составе. Свободные аминокислоты, входящие в состав удобрений, являются биологически активными веществами, стимулирующими рост и развитие культуры. Биостим Старт применялся для стимулирования прорастания клубней картофеля, способствовал появлению более дружных и ранних всходов, увеличивал сопротивляемость растений к болезням и неблагоприятным погодным условиям. Биостим Старт активировал развитие боковых и дополнительных корней, способствуя тем самым развитию мощной корневой системы растения.

Полидон Био Гумат Супер. Состав: экстракт морских водорослей – 20 %, N (общий) – 5 % (L-аминокислоты – 2 %, гуминовые вещества – 2 %), P_2O_5 – 1 %, K_2O – 1 %, SO_3 – 1 %; MgO – 0,3 %, CaO – 0,1 %, Na_2O – 0,1 %, Fe – 0,75 %, Cu – 0,5 %, V – 0,5 %, SiO_2 – 0,5 %, Zn – 0,15 %, B – 0,1 %, Mn – 0,375 %, Co – 0,015 %, I – 0,01 %. Жидкое органоминеральное удобрение, на основе экстракта морских водорослей, бетаинов, полисахаридов с повышенным содержанием гуминовых веществ. Внекорневая подкормка Полидон Био Гумат Супер обеспечивала повышение урожайности и улучшала его качество, процессы клубнеобразования и количество клубней.

Предшественник в опыте – озимая пшеница. Посадка картофеля во второй декаде мая клубнями массой 60–80 г по схеме 70 x 30, норма посадки – 3,5 т/га.

Агротехнические мероприятия: лущение стерни на глубину 10–12 см, зяблевая вспашка на глубину 25–27 см, ранневесеннее боронование в два следа на глубину 3–4 см, культивация на глубину 12–14 см и предпосадочная культивация на глубину 8–10 см, нарезка гребней, подготовка клубней к посадке, посадка на глубину 10–12 см, окучивание; за вегетативный период картофеля проведено три междурядных обработки, скашивание ботвы, уборка.

Минеральный фон макроэлементов вносили под весеннюю культивацию в дозе $N_{120}P_{45}K_{90}$, рассчитанной на планируемую урожайность 20 т/га.

За вегетационный период осуществляли двукратную инсектицидную обработку посадок при достижении пороговой численности колорадского жука. В качестве инсектицида применяли препарат «Фасшанс», КЭ, с нормой расхода 0,1 л/га (объём рабочей жидкости при обработке составлял 300 л/га).

Для повышения устойчивости культуры к патогенам клубни картофеля перед посадкой подвергали протравливанию препаратом «Шансометокс



Трио», КС, в дозе 0,4 л/т (расход рабочего раствора 10 л/т). Дополнительно выполняли довсходовую обработку посевов гербицидом «Зенкошанс Голд», КС, с нормой расхода 3,0 л/га и расходом рабочей жидкости 200 л/га.

Для проведения обработок использовали опрыскиватель Amazone UG3000, агрегатированный с трактором МТЗ-1221. На учётных делянках применяли ранцевый опрыскиватель «Жук ОГ-115».

Наблюдения и учёты проводились согласно программе исследований с использованием общепринятых методик для данной почвенно-климатической зоны. Математическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа по Р. Фишеру в изложении Б. А. Доспехова (1985) на ПЭВМ. Площадь опытных делянок – 100 м². Повторность – четырёхкратная.

Результаты исследований и их обсуждение

Скорость появления всходов у картофеля отражала интенсивность метаболизма в клубнях в период их прорастания и условий возделывания. По результатам фенологических учётов не было установлено существенных различий по срокам появления всходов исследуемых сортов в зависимости от вариантов внесения удобрений. Продолжительность периода от момента посадки до появления всходов в значительной степени определялась метеорологическими условиями конкретного вегетационного года. Данный этап онтогенеза имеет существенное значение для формирования будущего урожая, несмотря на от-

сутствие фотосинтетической активности: в этот период синтез органического вещества не осуществляется – его накопление обеспечивается за счёт мобилизации запасных веществ материнского клубня.

Особую агротехническую значимость представляет обеспечение равномерного и полноценного прорастания всех высаженных клубней, что позволяет сформировать дружные всходы и достичь запланированной густоты стояния растений. Фенологические наблюдения показали, что единичные всходы появлялись в конце III декады мая (28-30 мая), через 19-20 дней после посадки; полная фаза всходов отмечалась в I декаде июня (8-10 июня). В среднем за годы на вариантах с предпосадочной обработкой клубней Биостим Старт и при комплексной обработке фаза полных всходов на обоих сортах наступала быстрее на 3-4 дня по отношению к контрольному варианту. Данная закономерность указывала на влияние применяемого удобрения и на активацию прорастания клубней и появление более ранних и дружных всходов за счёт биологически активных ингредиентов, которые являются дополнительным источником энергии для растений на начальном этапе развития. Полисахариды ускоряли прорастание клубней, а аминокислоты являлись готовым строительным материалом для клеток, где в комплексе с микроэлементами активизировали ферментативную систему растения и ускоряли процессы роста (рис. 2).



Рис. 2 – Работа на опытных посадках картофеля и их учет
Fig. 2 – Work on experimental potato plantings and their registration

В среднем по опыту начало фаз ветвления стебля и бутонизации также наступило с опережением во всех вариантах с обработкой агрохимкатами по отношению к контролю. Фаза начала естественного отмирания ботвы фиксировалась позже из-за более удлиненного фотосинтезирования листьев культуры на опытных вариантах к контролю. Отметим, что к моменту уборки клубни на этих вариантах были более физиологически зрелыми.

Применение удобрений оказало влияния на скорость наступления фенологических фаз развития. Даты наступления фенофаз на вариантах

опыта наступали быстрее, чем на контроле. Динамика наступления фаз развития на опытных вариантах превышала контроль на 4,9 %. Максимальный результат был достигнут на варианте с комплексным внесением удобрений. Разницы между реакциями сортов на вносимые удобрения не наблюдалось.

Применение микроудобрений для предпосадочной обработки клубней способствовало формированию крепких ростков и развитию мощной корневой системы, что оказало положительное влияние на последующие этапы онтогенеза куль-



туры. В результате отмечено увеличение числа стеблей и расширение ассимиляционной поверхности листового аппарата (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика показателей роста и развития картофеля, среднее за 2025-2026 гг.

№ вар.	Вариант	Сорт Колобок			Сорт Краса Мещеры		
		Длина стебля, см	Количество стеблей, шт.	Масса ботвы, г	Длина стебля, см	Количество стеблей, шт.	Масса ботвы, г
1.	Контроль	42,4	4,7	173,4	44,2	5,1	214,2
2.	Обработка клубней Биостим Старт	45,5	4,9	193,2	45,3	5,2	249,1
3.	Обработка клубней Биостим Старт + опрыскивание Полидон Био Гумат Супер	48,7	4,9	206,1	47,9	5,3	256,4
4.	Двукратное опрыскивание Полидон Био Гумат Супер	48,9	5,0	214,4	53,2	5,4	264,7
5.	Комплексная обработка	50,2	5,3	233,0	56,1	5,6	275,4

Результаты исследований показали, что сорта оказались отзывчивыми к применению исследуемых микроудобрений. В конце фазы цветения высота стебля на сорте Колобок по вариантам опыта увеличились по отношению к контролю при внесении: Биостим Старт – на 7,3 %; Биостим Старт + Полидон Био Гумат Супер – на 14,8 %; Полидон Био Гумат Супер – на 15,6 %; все микроудобрения в комплексе – на 18,4 %.

Высота стебля на сорте Краса Мещеры по вариантам опыта увеличились по отношению к контролю при внесении: Биостим Старт – на 3,7 %; Биостим Старт + Полидон Био Гумат Супер – на 8,4 %; Полидон Био Гумат Супер – на 20,4 %; удобрения в комплексе – на 27,0 %.

Применение удобрений обеспечило достоверное увеличение количества стеблей у растений картофеля по сравнению с контрольным вариантом. Установлено, что действие удобрений выступало доминирующим фактором, определяющим изменчивость данного морфологического показателя. Максимальная эффективность отмечена при комплексном применении удобрений: прирост числа стеблей составил 12,8 % у сорта Колобок и 9,8 % — у сорта Краса Мещеры. Сравнительный анализ сортовой реакции выявил более высокую отзывчивость на внесение удобрений у сорта Колобок.

Надземная масса растений рассматривалась в качестве одного из ключевых биометрических показателей, детерминирующих скорость накопления и итоговую продуктивность клубней. Являясь основным органом автотрофного питания, надземная часть культуры определяет интенсивность фотосинтетической деятельности растения и, соответственно, уровень продукционного процесса.

Органоминеральные удобрения оказывали

существенное влияние на интенсивность фотосинтетической деятельности растений картофеля, с допустимым увеличением фотосинтетического потенциала в 1,5-2,5 раза. Особенно заметно было влияние удобрений на увеличении площади листовой поверхности, что способствовало не только усилению фотосинтеза, но и повышению общей биомассы растений. Эффективность фотосинтетической деятельности напрямую влияла на урожайность картофеля. Для достижения максимального эффекта было важно соблюдать сроки внесения удобрений и учитывать почвенно-климатические условия.

В интервале от фазы всходов до фазы бутонизации у растений картофеля происходило активное формирование ассимиляционного аппарата. Данный период характеризовался доминированием ростовых процессов, обусловленных интенсивным делением и дифференциацией клеток, обеспечивающей наращивание вегетативной массы. Согласно результатам проведенных исследований, максимальная динамика накопления надземной массы отмечалась в конце июня-начале июля, что соответствовало переходному этапу от фазы бутонизации к фазе цветения.

Применение удобрений оказало значимое влияние на интенсивность формирования надземной массы растений картофеля. Увеличение массы ботвы сорта Колобок по отношению к контролю при внесении: Биостим Старт – на 11,3 %; Биостим Старт + Полидон Био Гумат Супер – на 18,8 %; Полидон Био Гумат Супер – на 23,6 %; все удобрения в комплексе – на 33,1 %; на сорте Краса Мещеры: Биостим Старт – на 16,3 %; Биостим Старт + Полидон Био Гумат Супер – на 19,7 %; Полидон Био Гумат Супер – на 23,5 %; все удобрения в комплексе – на 28,6 %.



Накопление органического вещества растениями происходило в процессе фотосинтеза. Эффективность этого процесса зависила от функционирования посадок как фотосинтезирующей системы в целом. Важным показателем высокопродуктивных посадок являлась площадь листовой поверхности, формирование которой проходило в оптимальные сроки. Наибольший ее

прирост происходил в период бутонизации-цветения. Воздействие вариантов применения фона минерального питания проявлялось в стимулировании активного нарастания листовой поверхности картофеля исследуемых сортов. Показатели площади листовой поверхности в зависимости от варианта прослеживаются на рисунке 3.

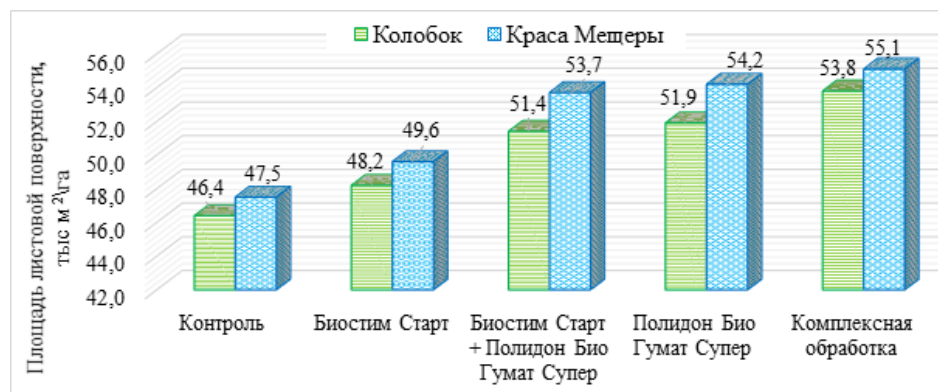


Рис. 3 – Максимальная площадь листьев картофеля в зависимости от вариантов применения агрохимикатов, среднее за 2025-2026гг.

Fig. 3 – The maximum leaf area of potatoes depending on the application options of agrochemicals, average for 2025-2026

Площадь листовой поверхности на контроле сорта Колобок составила 46,4 тыс.м²/га, на варианте с внесением Биостим Старт – 48,2 тыс.м²/га (превышение контроля на 3,9 %), Биостим Старт + Полидон Био Гумат Супер – 51,4 тыс.м²/га (превышение контроля на 10,8 %), Полидон Био Гумат Супер – 51,9 тыс.м²/га (превышение контроля на 11,8 %); все удобрения в комплексе – 53,8 тыс.м²/га (превышение контроля на 15,9 %).

Площадь листовой поверхности на контроле сорта Краса Мещеры составила 47,5 тыс.м²/га, на варианте с внесением Биостим Старт – 49,6 тыс.м²/га (превышение контроля на 4,4 %); Биостим Старт + Полидон Био гумат Супер – 53,7 тыс.м²/га (превышение контроля на 13,1 %); Полидон Био Гумат Супер – 54,2 тыс.м²/га (превышение контроля на 14,1 %); все удобрения в комплексе – 55,1 тыс.м²/га (превышение контроля на 16,0 %).

При определении площади листовой поверхности и массы надземной части растений картофеля отмечено, что происходит повышение значений данных показателей в зависимости от применяемых систем удобрений. Максимальные отклонения от контроля по площади листовой поверхности наблюдались у обоих сортов на вариантах опыта с комплексным применением удобрений на 5,5-6,7 тыс. м²/га по сравнению с контролем.

Показатели структуры урожая картофеля показывают эффективность применяемых систем удобрений. Установлено достоверное влияние внесения удобрений на повышение доли товарной фракции в общем объеме урожая клубней у изучаемых сортов культуры. Анализ вариантов применения удобрений продемонстрировал, что ключевым дифференцирующим фактором в структуре урожая выступает вариативность массы клубней, формирующихся на одном растении. (табл. 2).

Таблица 2 – Структура урожая картофеля, среднее за 2025-2026 гг.

№ №	Вариант	Сорт Колобок			Сорт Краса Мещеры		
		масса клубней с 1 раст., г.	число клубней с 1 раст., шт.	масса 1 клубня, г.	масса клубней с 1 раст., г.	число клубней с 1 раст., шт.	масса 1 клубня, г.
1.	Контроль	438,7	7,1	52,4	497,4	7,7	57,3
2.	Обработка клубней Биостим Старт	447,8	8,0	54,3	528,5	8,6	58,7
3.	Обработка клубней Биостим Старт + опрыскивание Полидон Био Гумат Супер	457,2	8,2	54,9	536,8	9,1	59,2



4.	2-х кратное опрыскивание Полидон Био Гумат Супер	464,3	8,2	55,2	539,8	9,0	59,0
5.	Комплексная обработка	475,2	8,8	53,5	547,4	10,2	62,2
НСП ₀₅ , АВ, среднее за годы: масса клубней с 1 раст., г – 6,28; число клубней с 1 раст., шт. – 2,05; масса 1 клубня, г – 4,63.							

Клубневая продуктивность растений от применения удобрений повышалась за счет увеличения числа клубней на растении. При возделывании картофеля по вариантам опыта масса клубней с одного растения колебалась от 438,7 до 475,2 г (Колобок) и от 497,4 до 547,4 г (Краса Мещеры), что составило разницу 36,5 г и 50,0 г, соответственно.

Установлена повышенная отзывчивость исследуемых сортов картофеля на вариант с комплексным внесением удобрений. В сравнении с контрольным вариантом применение комплексной системы удобрения обеспечило увеличение показателя на 8,3 % у сорта Колобок и на 10,0 % – у сорта Краса Мещеры. При этом сорт Краса Мещеры продемонстрировал наиболее выраженную

клубневую продуктивность в условиях комплексного внесения удобрений, обеспечив прирост показателя на 32,5 %. Максимальное повышение количества клубней на растении у сорта Колобок достигло 23,9 %.

Результаты анализа средней массы одного клубня у исследуемых сортов не выявили статистически существенных различий между вариантами опыта.

Продолжительность действия доз удобрений сказалась на урожайности картофеля (табл. 3).

Активное наращивание вегетативной массы картофеля наблюдалось до фазы начала цветения, в дальнейшем идет процесс интенсивного клубнеобразования.

Таблица 3 – Урожайность сортов картофеля, среднее за 2025-2026 гг.

№ №	Вариант	Урожайность, т/га	Сорт Колобок		Сорт Краса Мещеры		
			Прибавка урожайности		Урожайность, т/га	Прибавка урожайности	
			т/га	%		т/га	%
1.	Контроль	21,5	-	-	22,2	-	-
2.	Обработка клубней Биостим Старт	22,3	0,8	3,7	23,8	1,6	7,2
3.	Обработка клубней Биостим Старт + опрыскивание Полидон Био Гумат Супер	24,4	2,9	13,5	24,1	1,9	8,6
4.	2-х кратное опрыскивание Полидон Био Гумат Супер	25,4	3,9	18,1	24,8	2,6	11,7
5.	Комплексная обработка	26,7	5,2	24,2	26,0	3,8	17,1
НСП ₀₅ , т/га, взаимодействия АВ, среднее за годы – 0,73.							

Из анализа данных, приведенных в таблице 3, следует, что наибольшая продуктивность картофеля была сформирована на вариантах с комплексным применением удобрений. В среднем прибавка вариантов на сорте Колобок с удобрениями: на 0,8 т/га (Биостим Старт), на 2,9 т/га (Биостим Старт + Полидон Био Гумат Супер), на 3,9 т/га (Полидон Био Гумат Супер) и на 5,2 т/га (обработки в комплексе).

Прибавка вариантов на сорте Краса Мещеры с удобрениями: на 1,6 т/га (Биостим Старт), на 1,9 т/га (Биостим Старт + Полидон Био Гумат Супер), на 2,6 т/га (Полидон Био Гумат Супер) и на

3,8 т/га (обработки в комплексе).

Установлена высокая эффективность оптимизации минерального питания растений за счёт применения комплекса макро- и микроэлементов – прирост продуктивности составил 17,1-24,2 %. Включение микроэлементов в состав систем удобрения под картофель являлось необходимым агротехническим приёмом: он обеспечивал не только достижение высоких показателей продуктивности культуры, но и способствовал улучшению качественных характеристик клубней (табл. 4).



Таблица 4 – Показатели качества клубней картофеля, среднее за 2025-2026 гг.

№ вар.	Вариант	Сорт Колобок			Сорт Краса Мещеры		
		содержание сухого вещества, %	витамин С, мг/кг	крахмал, %	содержание сухого вещества, %	витамин С, мг/кг	крахмал, %
1.	Контроль	20,1	18	10,9	19,8	20	12,8
2.	Обработка клубней Биостим Старт	20,3	18	11,3	20,2	20	13,2
3.	Обработка клубней Биостим Старт + опрыскивание Полидон Био Гумат Супер	20,4	19	11,3	20,5	20	13,3
4.	2-х кратное опрыскивание Полидон Био Гумат Супер	21,1	22	11,7	20,9	20	13,9
5.	Комплексная обработка	21,2	22	12,4	21,1	21	14,7

Совместное применение микроэлементов с основными элементами минерального питания способствовало повышению товарности клубней картофеля на 8-14 %. При этом максимальная эффективность была зафиксирована в условиях неблагоприятного гидротермического режима вегетационного периода.

Комплексное внесение удобрений во всех исследуемых вариантах оказывало положительное влияние на крахмалистость клубней. В опытных вариантах, предусматривающих обогащение питательной среды комплексом макро- и микроэлементов, отмечено достоверное увеличение содержания крахмала по сравнению с контрольными вариантами: у сорта Колобок – на 0,4-1,5 %, у сорта Краса Мещеры – на 0,4-1,9 %.

С возрастанием уровня минерального питания наблюдалось увеличение содержания сухого вещества во всех опытных вариантах относительно контроля в диапазоне от 0,2 до 1,3 %. Данная динамика оказывала прямое влияние на повышение энергетической ценности клубней.

Анализ содержания витамина С в клубнях картофеля по всем вариантам применения удобрений не выявил существенных изменений. Максимальное среднее за годы исследований увеличение концентрации аскорбиновой кислоты составило 4 мг/кг у сорта Колобок.

Результаты исследований свидетельствуют о незначительном накоплении нитратов. По данным проведенных анализов этот показатель находился в интервале 45,4-55,4 мг/кг. Существенного изменения и четкой динамики повышения или снижения содержания нитратов в клубнях в зависимости от изучаемых видов и доз удобрений не выявлено.

Выявлено, что некорневые подкормки и правильное распределение удобрений по фазам развития повышают экономическую эффективность.

Агротехнические мероприятия в сочетании с рациональным применением удобрений позволяют достичь максимальной прибыли. Такой дифференцированный подход к выбору удобрений для разных сортов картофеля экономически оправдан. Все варианты опыта показали увеличение рентабельности производства картофеля. Самая высокая – на варианте с комплексным внесением удобрений, увеличение рентабельности составило 75,0-80,9 %.

Заключение

Резюмируя, отметим: результаты исследований 2025-2026 годов показали, что внесение исследуемых удобрений оказывало влияние на скорость наступления фенологических фаз развития картофеля. Даты наступления фаз развития на вариантах опыта наступали быстрее чем на контроле, динамика наступления фаз развития на опытных вариантах превышала контроль на 4,9 %. Максимальный результат был достигнут на варианте с комплексным внесением удобрений Биостим Старт и Полидон Био Гумат Супер. Разницы между реакциями сортов на вносимые удобрения не выявлено.

Отмечена положительная динамика роста и развития сортов картофеля от применения исследуемых удобрений на всех вариантах. Более эффективным оказался вариант применения удобрений в комплексе, который составил прибавку по отношению к контролю по показателям: высота стебля – на 18,4 % у сорта Колобок и на 27,0 % у сорта Краса Мещеры; количество стеблей – на 12,8 % у сорта Колобок и на 9,8 % у сорта Краса Мещеры; масса ботвы – на 33,1 % у сорта Колобок и на 28,6 % у сорта Краса Мещеры. Применение удобрений способствовало также увеличению площади листовой поверхности. Наиболее результативным оказался вариант с



комплексным внесением удобрений: на сорте Колобок – 53,8 тыс.м²/га (превышение контроля на 15,9 %), на сорте Краса Мещеры – 55,1 тыс.м²/га (превышение контроля на 16,0 %).

Масса клубней с одного растения колебалась от 438,7 до 475,2 г (Колобок) и от 497,4 до 547,4 г (Краса Мещеры), что составило разницу 36,5 г и 50,0 г, соответственно. Исследуемые сорта картофеля наиболее отзывчивыми оказались также к варианту с комплексным внесением удобрений, увеличение составило: на сорте Колобок +8,3 %, на сорте Краса Мещеры +10,0 %. Клубневая продуктивность сорта Краса Мещеры +32,5 %, сорта Колобок +23,9 %.

Наиболее высокий урожай картофеля сформировался на вариантах с комплексным применением удобрений и составил прибавку: на сорте Колобок 5,2 т/га, на сорте Краса Мещеры 3,8 т/га. Применяемые удобрения повлияли на увеличение содержания крахмала: на сорте Колобок (на 0,4–1,5 %), на сорте Краса Мещеры (на 0,4–1,9 %); содержание сухого вещества от 0,2 до 1,3 %; повышение содержания нитратов незначительно – в пределах 45,4–55,4 мг/кг; содержание витамина С в клубнях существенно не менялось. Результаты исследований свидетельствуют о незначительном накоплении нитратов. По данным проведенных анализов этот показатель находился в интервале 45,4–55,4 мг/кг.

Все варианты опыта показали увеличение рентабельности производства картофеля. Самая высокая – на варианте с комплексным внесением удобрений, увеличение рентабельности составило 75,0–80,9 %.

Список источников

1. Гаджиев П. И., Рамазанова Г. Г., Гаджиев И. П. Разработка ресурсосберегающей технологии и технических средств для возделывания картофеля. *Наука в центральной России*. 2024;1(67):110–117. DOI 10.35887/2305-2538-2024-1-110-117.
2. Гаспарян И. Н., Дорофеев Д. А., Логинов С. В. Эффективность биологического препарата и микроэлементных комплексов в технологии возделывания картофеля. *Плодородие*. 2026;1(148):36–40. DOI 10.25680/S19948603.2026.148.07.
3. Капитулина О. Н., Виноградов Д. В., Лупова

К. Р. Фитосанитарное состояние агроценозов картофеля в условиях Рязанской области. *АгроЭкоИнфо*. 2025;2(68). DOI 10.51419/202152221.

4. Карпукхин М. Ю., Чапалда Т. Л. Разработка элементов адаптивной технологии возделывания картофеля нового конкурентоспособного сорта Терра Уральской селекции. *Научно-технический вестник: Технические системы в АПК*. 2022;3-4(15-16):14–22.

5. Шевцов А. С. и др. Повышение эффективности технологии возделывания картофеля с применением хелатных микроудобрений. *Сахарная свекла*. 2026;3:28–30. DOI 10.25802/SB.2026.82.39.007.

6. Клименко В. И., Петровец В. Р., Будко С. И. Особенности технологий возделывания картофеля, применяемых в Республике Беларусь. *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. 2023;1(22):219–224.

7. Соколов А. А. и др. Мониторинг фитосанитарного состояния агроценозов в условиях Рязанской области. *Владимирский земледелец*. 2020;4(94):46–52. DOI 10.24411/2225-2584-2020-10145.

8. Минин В. Б., Черникова М. В. Оценка эффективности органической технологии возделывания картофеля в условиях Ленинградской области. *АгроЭкоИнженерия*. 2023;4(117):42–57. DOI 10.24412/2713-2641-2023-4117-42-57.

9. Питюрина И. С., Виноградов Д. В. Продуктивность и фитосанитарная оценка агроценозов картофеля в условиях Нечерноземья. *Вестник КрасГАУ*. 2021;12(177):59–64. DOI 10.36718/1819-4036-2021-12-59-64.

10. Питюрина И. С., Виноградов Д. В., Гогмачдзе Г. Д. Эффективность действия гуминового препарата на продуктивность картофеля. *АгроЭкоИнфо*. 2020;4(42):3.

11. Экспертно-аналитический центр агробизнеса "АБ-Центр" [Электронный ресурс]. URL: <https://ab-centre.ru> (дата обращения: 21.08.2026).

12. Asgarov E., Mirzaliyev V. Cultivation Technologies and Inorganic Fertilizer Norms when Growing Potatoes in Azerbaijan. *Bulletin of Science and Practice*. 2024;10(6):110–117. DOI 10.33619/2414-2948/103/16.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Hadzhiev P., Ramazanova G., Hadzhiev I. Development of resource-saving technology and technical means for potato cultivation. *Science in the Central Russia*. 2024;1(67):110–117. (in Russ.). DOI 10.35887/2305-2538-2024-1-110-117
2. Gasparyan I.N., Dorofeev D.A., Loginov S.V. Effectiveness of biological products and microelement complexes in potato cultivation technology. *Plodородие*. 2026;1(148):36–40. (in Russ.). DOI 10.25680/S19948603.2026.148.07
3. Kapitulina O. N., Vinogradov D. V., Lupova K. R. Phytosanitary status of potato agroecosystems in conditions of ryazan region. *AgroEcoInfo*. 2025;2(68). (in Russ.). DOI 10.51419/202152221
4. Karpukhin M. Yu., Chapalda T. L. Development of elements of adaptive technology of potato cultivation of a new competitive variety of terra ural selection. *Scientific and Technical Bulletin: Technical Systems in the Agro-Industrial Complex (Nauchno-tekhnicheskij vestnik: tekhnicheskie sistemy v APK)*. 2022;3–4(15–16):14–22. (in Russ.).



5. Shevtsov A.S. et al. Increasing the efficiency of potato cultivation technology using chelated micro fertilizers. *Sugar Beet*. 2026;3:28-30. (in Russ.). DOI 10.25802/SB.2026.82.39.007
6. Klimenko V. I., Petrovets V. R., Budko S. I. Features of potato cultivation technology used in the Republic of Belarus. *Design, Use and Reliability of Agricultural Machinery (Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyajstvennogo naznacheniya)*. 2023;1(22):219-224. (in Russ.).
7. Sokolov A. A. et al. Monitoring of agroecosystem phytosanitary condition in Ryazan region. *Vladimir agricultural journal (Vladimirsky Zemledelets)*. 2020;4(94):46-52. (in Russ.). DOI 10.24411/2225-2584-2020-10145.
8. Minin V. B., Chernikova M. V. Efficiency assessment of organic potato cultivation technology in the Leningrad region. *AgroEcoEngineering*. 2023;4(117):42-57. (in Russ.). DOI 10.24412/2713-2641-2023-4117-42-57.
9. Pityurina I. S., Vinogradov D. V. Potato agroecosystems productivity and phytosanitary assessment in the Non-Chernozem region. *Vestnik KrasGAU*. 2021;12(177):59-64. (in Russ.). DOI 10.36718/1819-4036-2021-12-59-64.
10. Pityurina I. S., Vinogradov D. V., Gogmachadze G. D. Efficacy of the action of humic preparation on potato productivity. *AgroEcoInfo*. 2020;4(42):3. (in Russ.).
11. Expert and Analytical Center for Agribusiness "AB-Center" [Electronic resource]. URL: <https://ab-centre.ru> (accessed:21.08.2026). (in Russ.).
12. Asgarov E., Mirzaliyev V. Cultivation Technologies and Inorganic Fertilizer Norms when Growing Potatoes in Azerbaijan. *Bulletin of Science and Practice*. 2024;10(6):110-117. DOI 10.33619/2414-2948/103/16.

Author Contributions:

All authors contributed equally to the publication.

The authors declare no conflicts of interest.

Информация об авторах

Капитулина Олеся Николаевна, канд. с.-х. наук, старший преподаватель кафедры агрономии и защиты растений, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия, olesyakapitulina@yandex.ru

Лупова Карина Рубиновна, соискатель, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия, lupovakarina@yandex.ru

Виноградов Алексей Дмитриевич, студент технологического факультета ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия, alexey.rzn06@yandex.ru.

Author Information

Olesya N. Kapitulina, Cand.Sc., Senior Lecturer at the Department of Agronomy and Plant Protection, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia olesyakapitulina@yandex.ru;

Karina R. Lupova, master applicant, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia lupovakarina@yandex.ru;

Alexey D. Vinogradov, student, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia alexey.rzn06@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 10.08.2026; одобрена после рецензирования 4.09.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 10.08.2026; approved after reviewing 4.09.2026; accepted for publication 16.09.2026.





Вестник РГАТУ, 2026, т.18, №3, с.33-44
Vestnik RGATU, 2026, Vol.18, №3, pp 33-44

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.12 : 631.811.98
DOI: 10.36508/RSATU.2026.67.25.005

**УРОЖАЙНОСТЬ СОРТОВ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АГРОХИМИКАТОВ
В УСЛОВИЯХ ЮГА НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**

Светлана Анатольевна Кистанова¹✉, Дмитрий Валериевич Виноградов¹

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

✉ svetlana.rzn@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В условиях юга Нечерноземья лимитирующим фактором реализации биологического потенциала гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum*) выступает высокая чувствительность индетерминантного типа роста к стрессорам вегетационного периода, что часто нивелирует эффект от базового минерального питания. Существующие агротехнические шаблоны не в полной мере учитывают сортоспецифичную реакцию на биостимуляцию, что приводит к разрыву между потенциальной и фактической семенной продуктивностью. Цель работы – сравнительная оценка продукционного эффекта и экономической целесообразности применения органоминерального удобрения Арксойл и регулятора роста на основе гуминовых кислот Экорост в технологии возделывания шести районированных сортов для выявления наиболее отзывчивых генотипов.

Методология. Закладка полевого эксперимента (2025-2026 гг.) проводилась на серых лесных почвах Рязанской области с применением систематического размещения делянок (учетная площадь – 280 м²) при четырехкратной повторности. Для расчета биологической урожайности, окупаемости затрат и прибыли от реализации анализировали структурные элементы урожая (массу 1000 семян, высоту стебля, число и массу плодов с растения). Схема опыта включала три варианта обработки агрохимикатами. Проводили внекорневые подкормки Арксойл ККР и Экорост.

Результаты. Регуляторы роста усиливали разрастание вегетативных органов, перераспределяя пластические соединения в генеративную сферу и активизируя налив зерна. Стебли сорта Куйбышевская 85 зафиксированы выше на 16,4 см по сравнению с необработанными делянками. Применение обоих агрохимикатов ослабляло негативное влияние погодных условий, причем характер отклика отличался выраженной сортоспецифичностью. Наименьшую реакцию на стимуляцию зафиксировали у сорта Темп, тогда как максимальной восприимчивостью выделялись Жданка и Даша. В варианте с препаратом Арксойл урожайность Жданки достигла 20,4 ц/га (прибавка к контролю – 1,9 ц/га), Даши – 19,0 ц/га (прибавка – 1,3 ц/га). Прирост урожая в обеих группах оказался самым существенным. Экономический анализ принес однозначный вывод: вариант с Арксойл демонстрирует неоспоримую выгоду. Окупаемость затрат на сорте Девятка составила 56,19 процента. Прибыль от реализации зерна возросла до 13,1 тыс. руб./га, что оправдывает возделывание культуры даже при исходно низкой продуктивности генотипов.

Заключение. Биостимуляторы на основе гуминовых кислот в технологии гречихи посевной привлекательны способностью стабилизировать продукционный процесс, но экономическая выгода от их применения реализуется лишь при условии, что препараты сортоспецифично подобраны и внесены через предпосевную обработку и внекорневые подкормки, что в конечном счете и определяет рентабельность. На высокопродуктивных генотипах максимальную прибыль обеспечивает Арксойл. Экорост же используют как антистрессовый буфер, востребованный именно в те вегетационные сезоны, которые отличаются неблагоприятными условиями, и где способность гречихи противостоять стрессу выходит на первый план, определяя сохранность урожая.

Ключевые слова: гречиха посевная, регуляторы роста, гуминовые кислоты, продуктивность, рентабельность, сортоспецифичность, предпосевная обработка, внекорневая подкормка

Для цитирования: Кистанова С.А., Виноградов Д.В. Урожайность сортов гречихи посевной при использовании агрохимикатов в условиях юга Нечерноземья // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т. 18, № 3, С. 33-44 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.67.25.005>.



Original article

YIELD OF BUCKWHEAT VARIETIES WHEN USING AGROCHEMICALS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN NON-CHERNOZEM REGION

Svetlana A. Kistanova¹✉, Dmitry V. Vinogradov¹¹ Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia

✉ svetlana.rzn@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. In the conditions of the southern Non-Chernozem region, the limiting factor in realizing the biological potential of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) is the high sensitivity of the indeterminate type of growth to the stressors of the growing season, which often negates the effect of basic mineral nutrition. Existing agrotechnical templates do not fully take into account the variety-specific response to biostimulation, which leads to a gap between potential and actual seed productivity. The aim of the work is a comparative assessment of the productive effect and economic feasibility of using the organomineral fertilizer Arksoil and the growth regulator based on Ecorost humic acids in the cultivation technology of six zoned varieties to identify the most responsive genotypes.

Methodology. The foundation stone of the field experiment (2025-2026) was carried out on gray forest soils of the Ryazan region using the systematic placement of plots (the registered area is 280 m²) with a fourfold repetition. To calculate biological yield, cost recovery and income from sales, the structural elements of the crop (the mass of 1000 seeds, the height of the stem, the number and weight of fruits from the plant) were analyzed. The scheme of the experiment included three processing options. The seeds were pickled before sowing and then foliar top dressing with Arksoil was carried out; the control option excluded any chemical treatments; In the Ecorost variant, the same sequence of operations was completely repeated.

Results. Growth regulators increased the growth of vegetative organs, redistributing plastic compounds into the generative sphere and activating grain filling. The stems of the Kuibyshevskaya 85 variety, for example, have become 16.4 cm taller than the untreated plots. The use of both agrochemicals weakened the negative effects of weather conditions, and the response pattern was characterized by pronounced variety specificity. The lowest response to stimulation was recorded in the Temp variety, while Zhdanka and Dasha were the most susceptible. In the variant with the drug Arksoil, the yield of Zhdanka reached 20.4 c/ha (an increase to the control – 1.9 c/ha), Dasha – 19.0 c/ha (an increase of 1.3 c/ha). The increase in yield in both groups was the most significant. The economic analysis has brought an unequivocal conclusion: the option with Arctic Oil demonstrates undeniable benefits. The cost recovery on the Nine grade was 56.19 percent. The profit from grain sales increased to 13.1 thousand rubles/ha, which justifies the cultivation of crops even with initially low productivity of genotypes.

Conclusion. Biostimulants based on humic acids in buckwheat technology are attractive for their ability to stabilize the production process, but the economic benefits of their use are realized only if the preparations are varietally selected and applied through pre-sowing and foliar fertilization, which ultimately determines profitability. On highly productive genotypes, Arksoil ensures maximum profit. Ecorost is used as an anti-stress buffer, which is in demand precisely during those growing seasons that are characterized by unfavorable conditions and where buckwheat's ability to withstand stress comes to the fore, determining the safety of the crop.

Key words: buckwheat, growth regulators, humic acids, productivity, profitability, variety specificity, pre-sowing treatment, foliar top dressing

For citation: Kistanova S.A., Vinogradov D.V. Yield of buckwheat varieties when using agrochemicals in the conditions of the Southern Non-Chernozem region // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No.3, P. 33-44 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.67.25.005](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.67.25.005)

Введение

Гречиха (*Fagopyrum esculentum*) в аграрном секторе России и ряда других стран занимает особое положение. Это не случайно. Высокие диетические и питательные качества зерна в этой культуре сочетаются с агроэкологической пользой, приносимой ею как превосходным медоносом и фитосанитаром севооборота [1, 2, 9, 15].

Статистика Рязанской области за десятилетний период 2015-2025 годов фиксирует неочевидную разнонаправленность в динамике гречихи посевной. Эта традиционная для Нечерноземья

крупная культура, несмотря на высокую природную приспособляемость, испытывает влияние двух противоборствующих трендов, при этом агротехнический прогресс поднял урожайность, а посевные площади неуклонно сокращаются в результате конкуренции с более рентабельными культурами [6, 11].

В регионе посевные площади гречихи сократились до исторического минимума. За десятилетие (2015-2025 годы) показатель уменьшился до 0,9 тыс. га, при этом в середине периода площади прошли через резкое падение, сократившись до



3,9 тыс. га в 2018 году и до 1,2 тыс. га в 2019 году, после чего в начале 2020-х годов стабилизировались в диапазоне от 1,9 до 4,6 тыс. га. Позднее площади опять стали сокращаться, достигнув 0,9 тыс. га к 2025 году.

Согласно оперативной отчетности хозяйств Рязанской области за 2026 год основной массив посевов гречихи сосредоточен в Пронском и Михайловском районах, где ООО «КАДЕ-Агро» отвело под культуру 325 гектаров, а ООО «Стан» совместно с ИП Рогожкиной С.Г. сформировало сопоставимую сумму – 312 гектаров. Два названных района аккумулируют свыше 60 % всех учтенных площадей и образуют базу регионального производства.

Значимые объемы, зафиксированные в том же 2026 году, демонстрируют и другие террито-

рии. ООО «Рассвет-1» разместило гречиху на 174 гектарах в Шацком районе. В Пителинском районе в КФХ «Мирошкин» возделывается 115 гектаров. Замыкает перечень Захаровский район, где ООО «Рассвет» располагает 40 гектарами.

Сокращение площадей сопровождается регрессом в урожайности. Если в 2015 году средняя урожайность гречихи составляла 14,5 ц/га, то показатель 2025 года опустился до 9,0 ц/га. Внутри этой нисходящей тенденции анализ динамики по годам выявил резкий всплеск 2023 года, когда урожайность достигла рекордных за весь наблюдаемый период 17,8 ц/га.

Основные показатели производства гречихи в хозяйствах всех категорий Рязанской области сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Основные показатели производства гречихи в хозяйствах всех категорий Рязанской области

Показатели	Годы										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Посевная площадь гречихи, тыс. га	1,0	2,2	7,0	3,9	1,2	4,2	1,9	3,3	6,2	4,6	0,9
Валовой сбор гречихи, тыс. тонн	1,4	1,9	4,8	1,7	1,3	4,0	2,2	4,8	9,8	4,2	0,7
Урожайность гречихи, ц/га	14,5	9,2	7,9	5,5	12,1	9,6	12,9	14,6	17,8	9,6	9,0

Урожайность гречихи напрямую зависит от осадков во время цветения и налива зерна, и многолетние данные подтверждают это на примере засушливых 2018 и 2020 годов с урожаями 5,5 и 9,6 ц/га. В 2022-2023 годах районированные сорта, удобрения и фунгицидная обработка подняли урожайность до 14,6 и 17,8 ц/га, а спад в 2024-2025 годах до 9,6 и 9,0 ц/га показал, что агроприемы не отменяют погодной зависимости. Объем валового сбора гречихи изменялся от 0,7 до 9,8 тыс. тонн [12, 14].

Рекордные 9,8 тыс. тонн 2023 года стали результатом удачного сочетания площади и урожайности, причем посевная площадь не достигала максимальных значений.

Гречиха внешне нетребовательна к почвенному плодородию, однако стабильно высокие урожаи при ее возделывании в современных условиях достижимы лишь при системном использовании агрохимических средств. Интенсивные агротехнологии, позволяющие реализовать генетический потенциал культуры и нивелировать воздействие абиотических и биотических стрессов, делает обязательным системное применение агрохимикатов [3, 4, 13].

Несмотря на способность гречихи усваивать труднодоступные фосфаты, ее высокая потребность в азоте, фосфоре и калии сохраняется на всех этапах органогенеза, а баланс минерального питания прямо определяет величину и качество урожая. Умеренные дозы азота ускоряют начальный рост вегетативной массы. Избыточное же вне-

сение элемента заставляет вегетативную массу чрезмерно разрастаться, подавляет развитие генеративных органов и затягивает созревание, в то время как фосфор отвечает за нормальное цветение, оплодотворение и налив, а калий повышает сопротивляемость засухе, заморозкам, инфекциям и усиливает крахмалонакопление в зерне.

Микроэлементы, наравне с макроэлементами, необходимы для нормального развития растений, причем для гречихи особенно важны бор, который отвечает за опыление, образование завязи и формирование полноценных цветков, что в итоге определяет количество зерен в каждой кисти, а также молибден, который в составе фермента превращает нитраты в усвояемые соединения. Нехватка молибдена нарушает азотный обмен и снижает отдачу от азотных удобрений. Микроэлементы вносятся через комплексные удобрения или внекорневые подкормки, предупреждая скрытый дефицит, который редко замечен, но ощутимо уменьшает урожайность; точную потребность в элементах питания устанавливают агрохимическим анализом и листовой диагностикой. На основе этих данных дифференцированное внесение удобрений повышает их эффективность.

Медленное развитие культуры на старте вегетации приводит к тому, что сорные растения, перехватывающие влагу, питательные вещества и свет, резко снижают урожайность, и это перерастает в критическое падение урожайности. Гербициды позволяют контролировать сорный фон. На ранних этапах применяются препараты (почвенные,

до всходов, и после всходов), сообразуя выбор препаратов с ботаническим составом сорняков, а срок обработки увязывая с фазой развития гречихи. Агрохимикаты защищают формирующийся урожай от комплекса угроз – сорной растительности, вредных организмов и возбудителей заболеваний (фитофаги, фитопатогены).

Биостимуляторы роста, составляющие отдельную категорию агрохимикатов, содержат гуминовые кислоты, аминокислоты, фитогормоны, хелатные микроэлементы (пример – Арксойл ККР) и воздействуют на метаболизм растений, не поставляя им питательных веществ напрямую. На гречихе их действие проявляется особенно заметно. Биостимуляторы, воздействуя на растения, заставляют корни разрастаться, значительно активнее поглощать воду с растворенными минеральными солями (особенно важно на бедных грунтах), и повышать сопротивляемость засухе, а также резким температурным перепадам, типичным для регионов возделывания гречихи [5]. Усиление метаболизма и более эффективное использование энергии способствуют более интенсивному цветению, улучшению опыления и увеличению числа завязей, что напрямую влияет на конечную урожайность и выравненность налива зерна [6, 7, 16].

Применение агрохимикатов для гречихи – это сложный диалог между необходимостью максимизации продуктивности и ответственностью за экологическую безопасность. Современные подходы требуют не просто использования, а научно обоснованного применения препаратов, строгого следования нормам расхода и срокам внесения, сочетания агрохимических методов с агротехническими (севооборот, обработка почвы), биологическими (использование энтомофагов) и селекционными (возделывание устойчивых сортов) подходами, а также постоянного мониторинга про-

цесса вегетации [8, 10].

Цель исследования – сравнительная оценка продуктивности шести сортов гречихи посевной при применении агрохимикатов Арксойл и Экорост и обоснование экономической целесообразности их использования в условиях юга Нечерноземья.

Материалы и методы исследования

Опыты закладывали в 2025 и 2026 годах на опытных полях агротехнологической опытной станции ФГБОУ ВО РГАТУ, расположенной в Рязанском районе Рязанской области. Объект исследований – сорта гречихи посевной Даша, Девятка, Дружина, Жданка, Куйбышевская 85 и Темп.

Схема опыта двухфакторная. Фактор А предусматривал три варианта обработок: первый – без применения агрохимикатов (контроль); второй – предпосевное протравливание семян препаратом Арксойл Старт, 100 мл/т совместно с внекорневой подкормкой по вегетации Арксойл ККР из расчета 150 мл/га; третий – обработка семян Экорост, 150 мл/т плюс подкормка по листу вегетирующих растений дозой 400 мл/га. Фактор В – сорта гречихи.

Почва участка – серая лесная тяжелосуглинистая. Средние агрохимические показатели перед закладкой опытов: гумус – 2,9 %, нитратный азот ($N-NO_3$) – 9,65 мг/кг, аммонийный азот ($N-NH_4$) – 1,57 мг/кг, подвижные соединения фосфора (P_2O_5) – 169 мг/кг, калия (K_2O) – 183 мг/кг, кислотность солевой вытяжки pH_{KCl} – 5,55.

Агротехнику выращивания гречихи использовали стандартную, рекомендованную для условий региона. Предшественником ежегодно была озимая пшеница. В качестве минерального фона вносили удобрения под предпосевную культивацию в дозе $N_{75}P_{35}K_{35}$. Посев – в третьей декаде мая, рядовым способом, ширина междурядий – 15 см, при норме высева – 3,5 млн всхожих семян на гектар (рис. 1).



Рис. 1 – Посев гречихи на агротехнологической опытной станции
Fig. 1 – Sowing buckwheat at the agro-technological experimental station

В течение вегетации проводили весь комплекс наблюдений, учетов и анализов, опираясь на общепринятые методики (рис. 2). Варианты опыта

размещали систематически, опыт закладывали в четырехкратной повторности. Площадь делянки: общая составляла 150 м², учетная – 100 м².



Рис. 2 – Обработка гречихи агрохимикатами, учет и мониторинг посевов в опыте
Fig. 2 – Treatment of buckwheat with agrochemicals, recording and monitoring of crops in the experiment

Результаты исследований и их обсуждение

Гречиха с её индетерминантным ростом, растянутым цветением и крайней чувствительностью к стрессам требует не просто удобрений, а сигнальных молекул и антистрессовых буферов. Именно эту роль берут на себя препараты, сочетающие гуминовые кислоты и природные органические соединения с микроэлементами, аминокислотами и фитогормоноподобными веществами. Рассмотрим две системы, построенные на таком подходе: совокупность регуляторов роста и органо-минеральных удобрений Арксойл Старт и Арксойл ККР, а также схему с жидким гуминовым удобрением Эккорост при обработке семян и по вегетации.

1. Препараты Арксойл Старт (обработка семян) и Арксойл ККР (внекорневая подкормка)

Первый компонент – Арксойл Старт, применяемый для предпосевной обработки семенного материала. Препарат представляет собой органо-минеральный концентрат с высоким содержанием гуминовых кислот, а также хелатированных микроэлементов (цинк, марганец, медь) и действует на семя сразу в нескольких направлениях. Во-первых, гуминовые кислоты активизируют дыхательные ферменты, усиливая прорастание и повышая полевую всхожесть на 6-12 % даже в условиях пересыхающего верхнего слоя почвы. Во-вторых, низкомолекулярные растворимые органические кислоты облегчают транспорт микроэлементов через семенную оболочку, растение начинает активнее производить собственные гормоны роста в корешке зародыша. Наконец, соединения кремния, часто входящие в подобные составы, формируют вокруг проростка защитную зону, снижая поражение корневыми гнилями.

Второй элемент системы – Арксойл ККР (концентрат коллоидного раствора), применяемый по листу в фазу 2-3 пары настоящих листьев и при необходимости повторно в начале бутонизации. Здесь теоретическая база смещается в сторону регуляции онтогенеза. Концентрат коллоидного раствора обычно содержит цитокининоподобные вещества и коллоидный кремний. Цитокинины задерживают старение листьев и стимулируют

закладку большего числа цветочных кистей, что для гречихи принципиально: чем больше заложено соцветий, тем выше потенциальный урожай. А коллоидный кремний, проникая в эпидермальные клетки, утолщает клеточные стенки, что повышает устойчивость стеблей к полеганию и снижает испарение. Когда семена протравливают, а вегетирующие растения опрыскивают по листу, формируется мощная корневая система, сбалансированная надземная часть, появляется множество продуктивных кистей, и сортовой потенциал реализуется в полной мере.

2. Гуминовое жидкое удобрение Эккорост (обработка семян и внекорневая подкормка)

Гуминовое удобрение Эккорост в жидкой форме содержит комплекс гуминовых и органических гумусовых кислот, дополненный сбалансированным набором микроэлементов (марганец, цинк, бор, молибден) и гидролизатами растительного белка (свободными аминокислотами). Препарат предназначен для обработки семян и листы. Двойное назначение продукта опирается на теоретическую модель, которая описывает формирование метаболического буфера и антистрессовой поддержки, охватывающей все этапы вегетации.

Препарат Эккорост, нанесенный на семена, ускоряет появление всходов и формирует системную устойчивость растений. Гуминовые кислоты адсорбируются на поверхности семени. Образуется биологически активная пленка, и при набухании она улучшает поглощение воды и кислорода. Микроэлементы в хелатной форме (прежде всего цинк и марганец) немедленно включаются в синтез ферментов, поддерживающих клеточное деление в зонах роста.

Присутствующий в препарате молибден активирует фермент, и нитраты превращаются в аммонийную форму уже на старте самостоятельного питания. Для гречихи, часто страдающей от избытка нитратного азота на плодородных почвах, это свойство особенно значимо. Снижается риск токсичного накопления нитратов, и почвенный азот усваивается полнее.

В течение вегетационного периода обработки

посевов гречихи препаратом Экорост приурочиваются к фазе ветвления, бутонизации и началу цветения. Двух-трех листовых подкормок, как правило, оказывается достаточно. Их высокая результативность объясняется совмещением некорневого питания с направленной гормональной регуляцией.

Аминокислоты из состава препарата выступают готовыми структурными блоками для построения собственных растительных белков. Метаболический путь, позволяющий миновать энергозатратный первичный синтез, в моменты максимальной физиологической уязвимости сберегает ресурсы организма радикально. При наступлении температурного стресса интенсивность фотосинтеза падает, и тогда экзогенные аминокислоты напрямую поставляют органический азот с углеродными скелетами, давая необходимую метаболическую опору дыханию и последующему заполнению зерновок крахмалом.

Массовый сброс завязей предотвращается комплексом микроэлементов, и здесь на первое место выходит бор в органической форме, ведь дефицит именно этого элемента надежно коррелирует с недобором урожая. Достаточное борное питание гарантирует успешное прорастание пыльцы и удлинение пыльцевой трубки. Параллельно цинк, участвуя в биосинтезе ауксинов, регулирует векторную мобилизацию органических и минеральных соединений, а гормональный сигнал перенаправляет питательные потоки к формирующимся семенам. Гуминовые кислоты в составе

листовой подкормки, образуя с металлами легкодоступные хелатные соединения, проходят сквозь кутикулярный слой и запускают каскад ферментативных реакций, проявляя росторегуляторную активность, сходную с действием ауксинов.

В основе предпосевной обработки семян и некорневых подкормок лежит общий принцип, согласно которому препараты модулируют физиологические процессы, не заменяя минерального питания, и растения получают возможность полнее использовать почвенные ресурсы и противостоять стрессам; обработка семян перед посевом дает равномерные и сильные всходы, а вещества, наносимые на листья в критические фазы закладки репродуктивных органов и налива зерна, смягчают действие неблагоприятных факторов и помогают культуре раскрыть продуктивный потенциал. Гречиха особенно отзывчива на такие приемы. Урожай этой культуры определяется долей цветков, сформировавших полноценные плоды, и мало связан с общей биомассой; поэтому препараты-модуляторы перестают быть вспомогательным агроприемом и становятся основой технологии, без которой приблизиться к биологическому пределу урожайности современных сортов невозможно.

На основании представленных на рисунке 3 и в таблице 2 данных, отражающих изменения структурных показателей урожая шести районированных сортов гречихи в зависимости от применения агрохимикатов, можно сделать ряд обоснованных заключений.



Сорта гречихи: 1 – Даша, 2 – Девятка, 3 – Дружина, 4 – Жданка, 5 – Куйбышевская 85, 6 – Темп
Рис. 3 – Типичные растения гречихи по исследуемым сортам в период цветения и в фазу полной спелости

Fig. 3 – Typical buckwheat plants for the studied varieties during flowering and at full maturity

Прежде всего, обращает на себя внимание ярко выраженная сортоспецифичность реакции на изучаемые факторы. Если рассматривать контрольную группу (без обработки), то наиболее продуктивными по массе плодов с одного растения (0,81 г) и числу плодов (23,8 шт.) выглядел сорт Жданка, который также характеризу-

вался максимальной массой 1000 семян в опыте (34,1 г). Однако этот же сорт не преобладал по высоте растений (89,0 см), уступая сортам Дружине (91,1 см) и Девятке (89,0 см). Это указывало на то, что высота стебля не всегда являлась доминирующим фактором, определяющим конечную семенную продуктивность.



Таблица 2 – Основные показатели структуры урожая сортов гречихи без обработки и на фоне действия агрохимикатов, среднее за 2025-2026гг.

фактор А	Сорт (фактор В)	Высота растений, см	Масса 1000 семян, грамм	Число плодов на 1 растении, штук	Масса плодов, грамм / 1 растение
Без Обработки (контроль)	Даша	77,3	31,9	23,4	0,74
	Девятка	89,0	31,9	20,3	0,64
	Дружина	91,1	31,7	21,0	0,66
	Жданка	89,0	34,1	23,8	0,81
	Куйбышевская 85	70,4	30,6	20,0	0,61
	Темп	70,2	29,9	20,0	0,59
Обработка Арксоил	Даша	87,6	34,1	23,9	0,81
	Девятка	96,9	31,8	21,7	0,69
	Дружина	96,6	32,9	21,5	0,70
	Жданка	96,6	34,1	23,6	0,80
	Куйбышевская 85	86,8	31,3	23,2	0,72
	Темп	87,9	30,7	20,0	0,61
Обработка Экорост	Даша	86,8	33,4	23,5	0,78
	Девятка	94,8	31,2	21,3	0,66
	Дружина	96,1	32,4	21,2	0,68
	Жданка	95,9	33,6	23,0	0,77
	Куйбышевская 85	86,7	30,8	22,6	0,69
	Темп	87,5	31,1	19,8	0,61
НСР ₀₅ , взаимодействия факторов АВ, среднее		3,17	0,98	1,87	0,40

Введение в технологию возделывания препарата Арксоил привело к повсеместному и статистически заметному увеличению высоты растений по всем сортам. Наиболее выраженный прирост данного показателя зафиксирован у сортов Даша и Куйбышевская 85 (разница с контролем составляет +10,3 и +16,4 см соответственно), что свидетельствовало о высокой отзывчивости этих генотипов на стимуляцию вегетативного роста. Отметим, что увеличение биомассы не всегда пропорционально увеличивало хозяйственно ценную часть урожая. Так, у сорта Девятка при обработке Арксоил масса 1000 семян снижалась (с 31,9 до 31,8 г) по сравнению с контролем, тогда как у сорта Даша этот показатель вырос с 31,9 до 34,1 г, что говорит о более активном перераспределении пластических веществ в пользу налива зерна в зависимости от сортовых особенностей.

Применение препарата Экорост, в свою очередь, продемонстрировало сходный тренд на фоне применения Арксоил, но с менее выраженной амплитудой колебаний. Интересно, что максимальные абсолютные значения массы плодов с растения в опытах с Экорост зафиксированы у сорта Даша (0,78 г) на 0,03 г уступало результату, полученному при использовании Арксоил, и на +0,04 г превышал контроль. Это позволяет говорить о том, что оба агрохимиката являются эффективными регуляторами ростовых процессов, однако их действие дифференцируется в зависимости от сорта: для Жданки, например, применение Арксоил оказалось эффективнее (0,80 г против 0,77 г у Экороста и 0,81 г в контроле), тогда как для Куй-

бышевской 85, напротив, Экорост дал прибавку к контролю (+0,08 г), в то время как Арксоил обеспечил +0,11 г.

Сопоставление отзывчивости генотипов на различные типы стимуляции и выявление стабильности эффекта в условиях межгодовой изменчивости погодных факторов производилось на основе выборки, представленной в таблице 3, где данные по каждому из шести сортов при трех вариантах обработки (без регуляторов, с внесением препарата Арксоил, с обработкой препаратом Экорост) представлены на протяжении вегетационных сезонов 2025 и 2026 годов. Биологическую урожайность фиксировали, когда семена достигали полной спелости, с последующим пересчетом полученных величин (табл. 3).

Анализ данных по гречихе посевной выявил ряд закономерностей, отражающих сортовую специфику культуры и результативность испытанных агрохимикатов. Оценка строилась на средне-годовых показателях и итоговых двухлетних значениях урожайности. Подобные сопоставления служат основой для обоснования практических рекомендаций по технологии возделывания.

В среднем за два года наблюдений вариант с применением Арксоил Старт (100 мл/т) и Арксоил ККР (150 мл/га) обеспечил наибольшую продуктивность, а прибавка к контролю, варьирувавшаяся в зависимости от сорта, составила от 1,3 до 2,9 ц/га, что свидетельствует о способности препаратов стимулировать ростовые процессы и формирование структурных элементов урожая. Экорост (150 мл/т + 400 мл/га) также стабильно превышал кон-



троль. Однако прибавка здесь не превышала 0,2-1,6 ц/га, а различие в эффективности двух схем стало особенно заметным в 2026 г., когда погод-

ные условия вегетационного периода воспрепятствовали реализации потенциала урожайности.

Таблица 3 – Биологическая урожайность гречихи посевной в зависимости от варианта опыта, ц/га

фактор А	Сорт (фактор В)	2025 г.	2026 г.	Среднее
Без обработки (контроль)	Даша	18,5	16,8	17,7
	Девятка	15,1	14,0	14,6
	Дружина	15,9	13,4	14,7
	Жданка	18,6	18,4	18,5
	Куйбышевская 85	13,9	14,1	14,0
	Темп	13,5	12,8	13,2
Арксойл Старт (100 мл/т) + Арксойл ККР (150 мл/га)	Даша	20,1	17,9	19,0
	Девятка	17,6	17,1	17,4
	Дружина	18,0	15,5	16,8
	Жданка	20,6	20,1	20,4
	Куйбышевская 85	16,7	17,0	16,9
	Темп	15,5	14,3	14,9
Экорост (150 мл/т + 400 мл/га)	Даша	18,2	17,5	17,9
	Девятка	17,8	16,8	17,3
	Дружина	16,1	15,1	15,6
	Жданка	20,6	19,5	20,1
	Куйбышевская 85	17,5	16,5	17,0
	Темп	15,5	14,1	14,8

Сортовая принадлежность прямо влияла на урожайность культуры: сорт Жданка проявил наибольшую отзывчивость на агротехнические приемы во всех вариантах опыта с максимальными показателями на контроле (18,5 ц/га в среднем) и после обработки Арксойл (20,4 ц/га). В среднем, сорта Девятка и Дружина дали близкие результаты (увеличение с 14,6 ц/га до 17,4 ц/га и с 14,7 ц/га до 16,8 соответственно). При этом прирост от обработки растений Арксойл у сорта Девятка оказался значительно больше, чем у растений сорта Дружина. Стимуляция ризосферной микрофлоры улучшала усвоение минеральных элементов. Сорта Темп и Даша показали наименьшую продуктивность из-за генетических особенностей и слабой стрессоустойчивости к факторам.

В 2026 году неблагоприятный гидротермический режим в период цветения и налива зерна привел к снижению урожайности почти во всех

вариантах относительно 2025 года. Биопрепараты, однако, смягчили воздействие абиотических стрессов.

Оценка рентабельности возделывания гречихи в условиях применения регуляторов роста требует не только учета прибавки урожайности, но и сопоставления дополнительных производственных расходов с полученной товарной выручкой. Для этого по каждому сорту и каждому варианту обработки были рассчитаны прямые затраты на гектар (с учетом стоимости препаратов, их внесения и сопутствующих агротехнологических операций), валовая стоимость продукции в ценах реализации, сложившихся в году исследований, а также итоговые показатели чистой прибыли и уровня рентабельности. В таблице 4 сведены основные экономические параметры для всех трех технологических схем – без обработки, с применением Арксойл и с использованием Экорост.

Таблица 4 – Экономическая оценка агроприемов в технологии выращивания гречихи

Объект исследования (сорт)	Продуктивность гречихи, ц/га	Совокупные затраты на 1 га, руб.	Выручка от реализации, руб./га	Прибыль от реализации, руб./га	Окупаемость затрат, %
Без обработки					
Даша	17,7	26373	37170	10797	40,94
Девятка	14,6	22484	30660	8176	36,36
Дружина	14,7	21977	30870	8894	40,47
Жданка	18,5	27935	38850	10915	39,07



Продолжение таблица 3

Куйбышевская 85	14,0	21910	29400	7490	34,19
Темп	13,2	21384	27720	6336	29,63
Арксойл Старт (100 мл/т) + Арксойл ККР (150 мл/га)					
Даша	19,0	27283	39900	12617	46,24
Девятка	17,4	23394	36540	13146	56,19
Дружина	16,8	22887	35280	12394	54,15
Жданка	20,4	28845	42840	13995	48,52
Куйбышевская 85	16,9	22820	35490	12670	55,52
Темп	14,9	22294	31290	8996	40,35
Экорост (150 мл/т) + Экорост (400 мл/га)					
Даша	17,9	27171	37590	10419	38,35
Девятка	17,3	23282	36330	13048	56,04
Дружина	15,6	22775	32760	9986	43,85
Жданка	20,1	28733	42210	13477	46,90
Куйбышевская 85	17,0	22708	35700	12992	57,21
Темп	14,8	22182	31080	8898	40,11

Проведённая экономическая оценка различных систем обработки посевов гречихи посевной на шести сортах в условиях 2025-2026 гг. выявила неоднозначную зависимость между ростом урожайности и конечными финансовыми результатами. Анализ проводили по комплексу показателей: совокупные производственные затраты на 1 га, выручка от реализации зерна (исходя из сложившихся средних цен реализации), прибыль от реализации и окупаемость затрат (отношение прибыли от реализации к затратам, выраженное в процентах). Установлено, что применение био-препаратов закономерно увеличивает прямые материальные расходы, однако степень компенсации этих вложений за счёт прибавки урожая существенно варьирует в зависимости от генотипа сорта и конкретного препарата.

Наибольшая прибыль от реализации с гектара была зафиксирована в варианте с использованием Арксойл Старт (100 мл/т) + Арксойл ККР (150 мл/га) на сорте Жданка – 13995 руб./га, что на 3080 руб. превышало контрольный показатель (10915 руб./га). Однако данный вариант характеризовался и самыми высокими совокупными затратами (28845 руб./га), вследствие чего окупаемость затрат составила 48,52 % – заметно ниже, чем у ряда других сортов на том же фоне обработки. Так, у сорта Девятка при использовании той же схемы затраты были на 5451 руб./га меньше, а прибыль от реализации достигла 13146 руб./га, что обеспечило окупаемость 56,19 % – максимальное значение среди всех изученных сочетаний. Близкие результаты продемонстрировал сорт Куйбышевская 85 на фоне Арксойла: окупаемость 55,52 % при прибыли от реализации 12670 руб./га. Это свидетельствует о том, что сорта со средней исходной продуктивностью, но меньшей требовательностью к ресурсам, способны обеспечивать более высокую рентабельность при использова-

нии стимулирующих препаратов, чем высокоурожайные, но затратноёмкие генотипы.

Фон с применением Экорост (150 мл/т + 400 мл/га) также дал положительный экономический эффект, однако его преимущества перед контролем оказались менее выраженными. Например, у сорта Даша прибыль от реализации на этом фоне снизилась до 10419 руб./га против 10797 руб./га в контроле, а окупаемость упала с 40,94 % до 38,35 %, несмотря на небольшое повышение урожайности (с 17,7 до 17,9 ц/га). Причина кроется в том, что прирост выручки не перекрыл дополнительных затрат на препарат. Для сортов Девятка и Куйбышевская 85 применение Экороста обеспечивает окупаемость на уровне 56,04 % и 57,21 % соответственно, тогда как показатели Арксойла заметно скромнее. Сопоставление результатов, выполненное на текущем этапе исследований, выявляет связь продуктивности с сортовыми особенностями, системой защиты и стимуляции, а дифференцированная реакция генотипов на действующие вещества обосновывает экономическую оправданность Экороста для отдельных из них.

Сорт Дружина в контрольной группе достиг максимальной естественной рентабельности: окупаемость зафиксирована на уровне 40,47 % при издержках 21977 руб./га. Сорт Жданка, генерируя более высокую выручку, показывал окупаемость лишь 39,07 %, а его производственные расходы поднимались до 27935 руб./га.

Самые низкие экономические параметры во всех экспериментальных группах зафиксированы у сорта Темп. Обработка Арксойл не подняла окупаемость выше 40,35 %. Низкая урожайность (13,2-14,9 ц/га) объясняет подобную динамику. Возделывание данного сорта в условиях проведенного опыта лишено экономических оснований.

Анализируя производственные данные, можно заключить, что для сорта Девятка комбинация



Арксойл Старт с Арксоил ККР давала оптимальные значения показателей прибыли от реализации и окупаемости затрат, обеспечивая наибольшую прибыль при наименьших удельных расходах на единицу прибавки урожая. А для сорта Жданка эта же обработка адресована хозяйствам, стремящимся к валовой максимизации прибыли, поэтому здесь необходимо проанализировать динамику цен и резервы снижения затрат. В качестве альтернативы для сортов Куйбышевская 85 и Девятка заслуживает внимания применение агрохимката Экорост, чья эффективность сопоставима с Арксойл, а окупаемость в ряде случаев оказывалась выше.

Точность совмещения сорта с конкретным действующим веществом и выбранной системой интенсификации определяла экономическую окупаемость биостимулирующих препаратов при выращивании гречихи, при этом расчеты подтверждали, что успех определяется сортовыми особенностями культуры. Чтобы выработать оптимальные модели управления затратами для разных зон возделывания, дальнейшие исследования необходимо развивать за счет дозирования препаратов и анализировать динамику рыночных цен на зерно.

Заключение

Результаты экспериментов 2025-2026 годов на серых лесных почвах Рязанской области продемонстрировали, что агрохимкаты Арксойл и Экорост при выращивании гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum*) позволяют управлять продукционным процессом, однако эффект существенно зависит от сорта и гидротермических условий сезона. Оба препарата достоверно увеличили высоту растений и улучшили структуру урожая. Наибольший рост биологической урожайности при обработке Арксойл показали сорта Куйбышевская 85 и Девятка – на 2,9 и 2,8 ц/га по сравнению с контролем, а сорта Темп и Даша в меньшей степени отзывались на стимуляцию агрохимкатом. У растений сорта Куйбышевская 85 после обработки Арксойл вегетативная масса резко выросла (высота увеличилась на 23,3 %), а масса плодов стала больше только на 18,0 %, а у сортов Девятка и Дружина биомасса и урожай зерна увеличились соразмерно.

Окупаемость затрат 56,19 %, зафиксированная у сорта Девятка при обработке препаратом Арксойл, оказалась наивысшей; сорт Жданка при той же обработке дал максимальную прибыль 13,9 тыс. руб./га, а вариант с Экорост принес рентабельность 56-57 % на Куйбышевской 85 и Девятке, подтверждая конкурентоспособность этой схемы для данных генотипов. Засушливые условия 2026 года выявили антистрессовый эффект биостимуляторов, сокративших амплитуду межгодовых колебаний урожайности, причем для сортов со средней продуктивностью этот фактор приобретал особую значимость. Дифференцированный подход диктует выбор агрохимката, при котором высокопродуктивные сорта Жданка и Девятка выходили на максимальную прибыль при обработке Арксойл; сорта Даша, Дружина и Куй-

бышевская 85, обладающие умеренным потенциалом, показывали сопоставимые результаты от обоих биостимуляторов, поэтому окончательное решение необходимо принимать по экономической целесообразности для условий сезона. Сорт Темп при всех вариантах обработки существенно малорентабелен.

Дальнейшие исследования в агроценозах гречихи предполагают оптимизировать нормы расхода изучаемых агрохимкатов и сроки внекорневых обработок, интегрируя метеопрогнозы, а также изучить последствие биостимуляторов на микробиологическую активность ризосферы и качественные характеристики зерна. Полученные материалы лягут в основу сортовых технологических карт, что позволит повысить рентабельность гречихосеяния в регионе и сократить риски недобора при стрессе.

Список источников

1. Баюров Л. И., Дмитриенко С. Н. Гречиха и ее народнохозяйственное значение. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2025;211:702-722. DOI 10.21515/1990-4665-211-058.
2. Белкина Р. И., Першаков А. Ю., Нестерова Е. В. Сорт как фактор повышения продуктивности гречихи. *Агропродовольственная политика России*. 2025;3(116):10-18. DOI 10.35524/2227-0280_2025_03_09.
3. Глазова З. И. Агроэкономическая эффективность применения микро-и органоминеральных удобрений при выращивании гречихи. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2023;2(46):74-82. DOI 10.24412/2309-348X-2023-2-74-82.
4. Дегтярева И. А., Кириллова Н.И., Прищепенко Е. А. Оценка действия комплексных биоудобрений на продуктивность и микробиоценоз гречихи. *Агрохимический вестник*. 2023;4:67-73. DOI 10.24412/1029-2551-2023-4-011.
5. Зоринов Д. С. Климатические риски, оказывающие влияния на физиологические особенности и урожайности гречихи в Европейских районах России. *Гидрометеорология и образование*. 2025;3(23):90-97.
6. Виноградов Д. В., Соколов А. А., Лупова Е. И., Вертелецкий А. И. Комплексное использование микробиологических и минеральных удобрений в агроценозах яровых зерновых культур. *Вестник КрасГАУ*. 2025;1(214):3-11. DOI 10.36718/1819-4036-2025-1-3-11.
7. Мазалов В. И., Наумкин В.П. Приемы повышения урожайности гречихи. Орел : *Картуш*, 2022. 248 с. ISBN 978-5-9708-1017-0.
8. Мазалов В. И., Наумкин В. П. Сравнительная оценка урожайности сортов гречихи посевной. *Биология в сельском хозяйстве*. 2018;4(21):20-25.
9. Мазалов В. И., Наумкин В. П. Экологическое испытание сортов гречихи. *Пчеловодство*. 2018;9:20-23.
10. Никитина В. И., Вагнер В. В. Значение способа посева и нормы высева в формировании генеративных признаков у сортов гречихи посевной. *Вестник КрасГАУ*. 2023;4(193):3-11. DOI



10.36718/1819-4036-2023-4-3-11.

11. Никифоров В. М., Никифоров М. И. Продуктивность и качество зерна гречихи при разных дозах минерального удобрения. *Сахарная свекла*. 2025;10:15-17. DOI 10.25802/SB.2025.26.88.004.

12. Виноградов Д. В. и др. Особенности выращивания и современные тенденции производства гречихи посевной. *АгроЭкоИнфо*. 2024;5(65). DOI 10.51419/202145517.

13. Пашковская А. А. Средства химизации как фактор управления потенциалом продуктивности агроценоза гречихи. *International Agricultural Journal*. 2025;68(4):1041-1054. DOI 10.55186/25880209_2025_9_4_4.

14. Кистанова С. А. и др. Развитие и урожайность сортов гречихи при применении органи-

нерального удобрения в условиях Юга Нечерноземной зоны. *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2025;4(38):153-164. DOI 10.24888/2541-7835-2025-38-4-153-164.

15. Рахимова Г. М., Бакирова Э. Р. Продуктивность сортов гречихи в условиях Татышлинского и Учалинского районов Республики Башкортостан. *Российский электронный научный журнал*. 2023;1(47):148-156. DOI 10.31563/2308-9644-2023-47-1-148-156.

16. Соколов А. А. и др. Эффективность применения регуляторов роста в технологии выращивания ярового рапса в условиях юга Нечерноземья. *Земледелие*. 2026;4:23-26. DOI 10.24412/0044-3913-2026-4-23-26.

Вклад авторов:

все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Bayurov L.I., Dmitrienko S.N. Buckwheat and its national economic significance. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2025;211:702-722. (in Russ). DOI 10.21515/1990-4665-211-058.

2. Belkina R.I., Pershakov A.Yu., Nesterova E.V. Variety as a factor in increasing buckwheat productivity. *Agro-food policy in Russia*. 2025;3(116):10-18. (in Russ). DOI 10.35524/2227-0280_2025_03_09.

3. Glazova Z. I. Agroecological efficiency of using micro-and organomineral fertilizers in the cultivation of buckwheat. *Legumes and groat crops*. 2023;2(46):74-82. (in Russ). DOI 10.24412/2309-348X-2023-2-74-82.

4. Degtyareva I. A., Kirillova N. I., Prishchepenko E. A. Assessment effect of complex biofertilizers on productivity and microbiocenosis of buckwheat. *Agrochemical Herald (Agrokhimicheskiy vestnik)*. 2023;4:67-73. (in Russ). DOI 10.24412/1029-2551-2023-4-011.

5. Zorinov D. S. Climatic risks affecting the physiological characteristics and yields of buckwheat in european regions of Russia. *Hydrometeorology and Education*. 2025;3(23):90-97. (in Russ).

6. Vinogradov D.V., Sokolov A.A., Lupova E.I., Verteletsky A.I. Complex use of microbiological and mineral fertilizers in spring grain crops agroecosis. *Bulletin of KSAU (Vestnik KrasGAU)*. 2025;1(214):3-11. (in Russ). DOI 10.36718/1819-4036-2025-1-3-11.

7. Mazalov V. I., Naumkin V. P. Priemy povysheniya urozhaynosti grechikhi (Methods for increasing buckwheat yield). Orel: *Kartush*, 2022. 248 p. ISBN 978-5-9708-1017-0.

8. Mazalov V. I., Naumkin V. P. Comparative estimation of yield of buckwheat varieties planting. *Biologi in Agriculture*. 2018;4(21):20-25. (in Russ).

9. Mazalov V. I., Naumkin V. P. Ecological testing of buckwheat varieties. *Beekeeping (Pchelovodstvo)*. 2018;9:20-23. (in Russ).

10. Nikitina V. I., Wagner V. V. Sowing method and seeding rate significance in the generative traits formation in buckwheat varieties. *Bulletin of KSAU (Vestnik KrasGAU)*. 2023;4(193):3-11. (in Russ). DOI 10.36718/1819-4036-2023-4-3-11.

11. Nikiforov V. M., Nikiforov M. I. Productivity and quality of buckwheat grain at different doses of mineral fertilizer. *Sugar Beet (Sakharaya svekla)*. 2025;10:15-17. (in Russ). DOI 10.25802/SB.2025.26.88.004.

12. Vinogradov D. V. et al. Features of cultivation and modern trends in the production of buckwheat. *AgroEcolInfo*. 2024;5(65). (in Russ). DOI 10.51419/202145517.

13. Pashkovskaya A. A. Chemicalization tools as a factor in managing the productivity potential of buckwheat agroecosis. *International Agricultural Journal*. 2025;68(4):1041-1054. (in Russ). DOI 10.55186/25880209_2025_9_4_4.

14. Kistanova S. A. et al. Development and yield of buckwheat varieties under organomineral fertilizer application in the Southern Non-black Earth zone Agro-industrial technologies in Central Russia (*Agropromyshlennyye tekhnologii Tsentralnoy Rossii*). 2025;4(38):153-164. (in Russ). DOI 10.24888/2541-7835-2025-38-4-153-164.

15. Rakhimova G. M., Bakirova E. R. Productivity of buckwheat varieties under the conditions of Tatyshlinsky and Uchalinsky district of the Republic of Bashkortostan. *Russian electronic scientific journal*. 2023;1(47):148-156. (in Russ). DOI 10.31563/2308-9644-2023-47-1-148-156.

16. Sokolov A. A. et al. Efficiency of using growth regulatirs in spring rapeseed cultivation technology in the conditions of the Southern Non-Black Earth Region. *Agriculture (Zemledelie)*. 2026;4:23-26. (in Russ). DOI 10.24412/0044-3913-2026-4-23-26.



Authors' contribution:

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

The authors declare no conflict of interest.

Информация об авторах

Кистанова Светлана Анатольевна, соискатель кафедры агрономии и защиты растений, мл. научн. сотрудник, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия, svetlana.rzn@mail.ru

Виноградов Дмитрий Валериевич, д-р биол. наук, профессор, заведующий кафедрой агрономии и защиты растений; ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия, vdv-rz@rambler.ru

Author Information

Svetlana A. Kistanova, Candidate of the Department of Agronomy and Plant Protection, Junior Researcher, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia svetlana.rzn@mail.ru

Dmitry V. Vinogradov, D.Sc. (Biology), professor, head of the department of agronomy and plant protection; Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia vdv-rz@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 10.08.2026; одобрена после рецензирования 30.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 10.08.2026; approved after reviewing 30.08.2026; accepted for publication 16.09.2026.





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.2.033
DOI 10.36508/RSATU.2026.98.13.006

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТУШИ И СООТНОШЕНИЕ ТКАНЕЙ БЫЧКОВ
КАЛМЫЦКОЙ ПОРОДЫ И ЕЕ ПОМЕСЕЙ С АБЕРДИН-АНГУССАМИ И ГЕРЕФОРДАМИ**

Владимир Иванович Косилов¹, Елена Анатольевна Никонова¹✉, Юсупжан Артыкович Юлдашбаев², Раиля Губайдулловна Калякина¹, Ильмира Агзамовна Рахимжанова¹

¹ ФГБОУ ВО Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия

² ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

✉ nikonovaEA84@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Повышение мясной продуктивности и качества говядины при межпородном скрещивании является основным направлением развития специализированного мясного скотоводства. Изучение влияния скрещивания отечественной мясной породы с производителями британских мясных пород на морфологический состав туши и соотношение тканей являлось основной целью настоящих исследований.

Методология. Поставленная цель достигалась путем проведения контрольного убоя чистопородных и помесных бычков, проведения обвалки туши, жиловки съедобной ее части и расчёта соотношения структурных элементов. Методологической основой исследований являлись аналитический подход и статистическая обработка фактического материала.

Результаты. При анализе полученных данных отмечено проявление эффекта скрещивания у помесных бычков по всем показателям, характеризующим морфологический состав полутуши. Это свидетельствует об улучшении качественных характеристик мясной продукции помесей. Установлено, что у помесей абсолютная масса мякоти повысилась на 12,51-14,46 кг (12,38-14,13 %), относительная – на 0,90-2,00 %, абсолютная масса мышечной ткани увеличилась соответственно на 10,51-12,33 кг (12,29-14,42 %, относительная – на 1,71 % и 0,92 %, а индекс мясности туши (выход мякоти на 1 кг костей) повысился 6,51-10,08 %. При этом герефордские помеси имели наибольшую абсолютную массу мякоти (+1,70 %) по сравнению с помесями с абердин-ангусской породой, но уступали им по относительной массе съедобной части туши (+1,10 %) и индексу мясности (+3,35 %). Абердин-ангусские помеси отличались минимальным выходом соединительно-тканых образований и относительной массой костей.

Заключение. Полученные экспериментальные материалы могут использоваться при создании товарных мясных стад в специализированном мясном скотоводстве для получения эффекта скрещивания (гетерозиса).

Ключевые слова: мясное скотоводство, калмыцкая порода, помеси с абердин-ангусской и герефордской породой, бычки, убой, туша, морфологический состав туши, соотношение тканей

Для цитирования: Косилов В.И., Никонова Е.А., Юлдашбаев Ю.А., Калякина Р.Г., Рахимжанова И.А. Морфологический состав туши и соотношение тканей бычков калмыцкой породы и ее помесей с абердин-ангуссами и герефордами // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т. 18, № 3, С.45-51 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.98.13.006](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.98.13.006)

Original article

**MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF CARCASSES AND TISSUE RATIO OF KALMYK BULL CALVES
AND THEIR HYBRIDS WITH ABERDEEN ANGUSSEANS AND HEREFORDS**

Vladimir I. Kosilov¹, Elena A. Nikonova¹✉, Yusupzhan A. Yuldashbaev², Railya G. Kalyakina¹, Ilmira A. Rakhimzhanova¹

¹Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

²Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

© Косилов В.И., Никонова Е.А., Юлдашбаев Ю.А., Калякина Р.Г., Рахимжанова И.А., 2026г.



✉ nikonovaEA84@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. Of increasing meat productivity and beef quality during interbreeding is the main direction of the development of specialized beef cattle breeding. The study of the effect of crossing domestic meat breeds with producers of British meat breeds on the morphological composition of carcasses and the ratio of tissues was the main purpose of these studies.

Methodology. The achievement of this goal was achieved by conducting a control slaughter of purebred and crossbred steers, deboning the carcass, veining its edible part and calculating the ratio of structural elements. The methodological basis of the research was an analytical approach and statistical processing of factual material.

Results. Analysis of the obtained data revealed a crossbreeding effect in the crossbred bulls across all parameters characterizing the morphological composition of the carcass half. This indicates improved quality characteristics of the crossbred meat products. It was found that the absolute mass of pulp in crossbreeds increased by 12.51-14.46 kg (12.38-14.13%), the relative mass by 0.90-2.00%, the absolute mass of muscle tissue increased by 10.51-12.33 kg (12.29-14.42%), respectively, the relative mass by 1.71% and 0.92%, and the carcass meat index (the yield of pulp per 1 kg of bones) increased by 6.51-10.08%. Hereford crossbreeds had the highest absolute mass of pulp (+1.70%), compared to crossbreeds with the Aberdeen Angus breed, but were inferior to them in the relative mass of the edible part of the carcass (+1.10%) and the meat index (+3.35%). Aberdeen-Angus crossbreeds were distinguished by a minimal yield of connective tissue formations and relative bone mass.

Conclusion. The experimental materials obtained can be used in the creation of commercial meat herds in specialized beef cattle breeding to obtain the effect of crossing (heterosis).

Key words: beef cattle breeding, Kalmyk breed, crossbreeds with Aberdeen Angus and Hereford breeds, steers, slaughter, carcass, morphological composition of carcass, tissue ratio

For citation: Kosilov V.I., Nikonova E.A., Yuldashbaev Yu.A., Kalyakina R.G., Rakhimzhanova I.A. Morphological composition of carcasses and tissue ratio of Kalmyk bull calves and their hybrids with Aberdeen Angussians and Herefords // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No.3, P. 45-51 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.98.13.006>

Введение

При решении вопроса достижения Продовольственной безопасности страны важным является увеличение производства мяса всех видов, в частности, говядины, занимающей значительный удельный вес в мясном балансе [1-4].

Для решения этой важной народно-хозяйственной задачи необходимо разработать и реализовать комплекс организационно-технологических и селекционно-генетических мероприятий по рациональному использованию ресурсов как отечественных, так и зарубежных пород животных [5-7].

Решение этой важной задачи требует формирования долгосрочной стратегии, предусматривающей разработку и последовательную реализацию комплекса организационно-технологических и селекционно-генетических мероприятий. Ключевая цель стратегии должна состоять в рациональном использовании генетического потенциала как отечественных, так и зарубежных пород животных для устойчивого развития животноводства. Внедрение данной стратегии способствовало бы увеличению продуктивности и конкурентоспособности отечественного разведения животных, что в свою очередь, обеспечит продовольственную безопасность страны за счёт роста объёмов производства высококачественной продукции.

Развитие специализированного мясного скотоводства, нацеленного на выпуск премиальной говядины и побочных продуктов, включая коженное сырьё, призвано внести существенный вклад в рост объёмов ее производства. Данное направление характеризуется упрощенной технологией, минимальными инвестициями и меньшей

потребностью в рабочей силе. При правильном подходе к организации выпаса и откорма скота это гарантирует сравнительно низкую себестоимость получаемого мяса. Более того, представители мясных пород скота обладают высокой степенью приспособляемости, что открывает возможности для их разведения в разнообразных природно-климатических условиях. Это особенно актуально для отдалённых районов страны, где ощущается дефицит кадров.

При разведении мясного скота нет необходимости использовать капитальные помещения. Животные могут содержаться в обеспеченных облегченных помещениях, а молодняк при выращивании и откорме в отдельных случаях под навесами, с кормлением на выгульно-кормовых загонах и поением. Это существенно сокращает эксплуатационные расходы на отопление и освещение и потребность в обслуживающем персонале. При этом увеличение поголовья возможно без значительных инвестиций в инфраструктуру.

В товарном мясном скотоводстве основным методом разведения должно стать межпородное скрещивание. Этот подход научно обоснован и многократно подтверждён практикой: молодняк, полученный путем скрещивания, благодаря так называемому эффекту гетерозиса, демонстрирует превосходство в наборе мышечной массы и, как следствие, в мясной продуктивности, опережая в этом отношении своих сверстников, принадлежащих к одной породе. Грамотное применение этого подхода позволяет значительно улучшить показатели производства говядины. Этот подход делает его использование при производстве говядины экономически привлекательным и позволяет по-



высвить рентабельность и конкурентоспособность отрасли [8-14].

В стране наибольший удельный вес среди специализированных пород мясного скота занимает отечественная калмыцкая порода [15,16]. Её широкое распространение обусловлено многовековой адаптацией к суровым условиям степных регионов России, высокой жизнеспособностью и рядом ценных хозяйственно-полезных качеств. Сегодня основные племенные стада сосредоточены в Республике Калмыкия, Астраханской, Волгоградской и Ростовской областях, а также в Ставропольском крае. поголовье калмыцкого скота в РФ превышает 300 000 голов, что делает его одной из самых многочисленных мясных пород в стране. Отличаясь комплексом хозяйственно-полезных особенностей, в частности, высокими материнскими качествами и адаптационными способностями, животные этой породы уступают скоту британских пород по уровню мясной продуктивности и качеству говядины.

Учитывая вышесказанное, данное исследование направлено на выяснение того, как сочетание отечественных мясных пород с британскими мясными породами влияет на формирование туши, в частности, на ее морфологический состав и соотношение мышечной, жировой и костной тканей.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования были сформированы 3 экспериментальные группы бычков. Первая группа включала чистопородных животных калмыцкой породы. Вторая состояла из животных, полученных путем скрещивания калмыц-

кой породы с абердин-ангусской в соотношении 1:1. Третья категория представляла собой помеси калмыцкой и герефордской пород, также в пропорции 1:1. Следующие шесть месяцев жизни бычки провели вместе с матерями, получая полноценное молоко в рамках системы "корова-теленки".

По достижении шестимесячного возраста телят отняли от матерей и перевели на площадку для откорма. Здесь они находились до завершения этапа выращивания, будучи в одной технологической группе и размещенные в облегченных сооружениях. Кормление молодняка проходило на площадке для выгула и кормления, а для бесперебойного доступа к воде были установлены автопоилки АГК-4. Эти поилки были оборудованы системой подогрева для обеспечения доступности воды в зимний период.

В возрасте 18 месяцев для каждой генотипической группы были проведены контрольные забой, из которых отобрано по три бычка. Забой животных и последующая обработка туш осуществлялись согласно методическим указаниям ВАСХ-НИЛ, ВИЖ, ВНИИМП (1977).

Анализ полученных экспериментальных данных был выполнен с помощью программного пакета Statistica 10.0 (Stat Soft inc., США). Достоверность полученных результатов подтверждалась применением критерия Стьюдента.

Результаты исследований и их обсуждение

Полученные при обвалке правой полутуши бычков подопытных групп данные свидетельствуют о влиянии генотипа молодняка на ее морфологический состав (табл.1)

Таблица 1 – Морфологический состав полутуши чистопородных и помесных бычков в 18 мес

Показатель		Группа					
		I		II		III	
		показатель					
		M±m	Cv	M±m	Cv	M±m	Cv
Масса полутуши, кг		127,4±2,21	2,02	139,5±2,33***	2,24	143,8±2,41***	2,34
Мякоть	кг	102,30±2,21	2,08	114,81±2,33***	2,13	116,76±2,38***	2,20
	%	80,30±0,99	1,14	82,30±1,04	1,26	81,20±1,08	1,33
Мышцы	кг	85,48±1,36	1,28	95,99±1,66***	1,48	97,81±1,7***	1,59
	%	67,10±0,88	1,10	68,81±0,98	1,28	68,02±0,94	1,20
Жир	кг	16,82±0,90	1,28	18,82±0,95*	1,34	18,95±0,99*	1,41
	%	13,20±0,34	1,08	13,49±0,42	1,21	13,18±0,40	1,18
Кости	кг	21,47±1,04	1,19	21,90±1,06	1,23	23,02±1,25	1,34
	%	16,85±0,30	1,18	15,70±0,32	1,21	16,01±0,34	1,30
Хрящи и сухожилия	кг	3,63±0,13	1,10	2,79±0,16	1,23	4,02±0,19	1,33
	%	2,85±0,12	1,22	2,00±0,14	1,28	2,79±0,17	1,34

Здесь и далее: * – P≥0,95, ** – P≥0,99, *** – P≥0,999

Благодаря эффекту гетерозиса, полученное гибридное потомство продемонстрировало превосходство над сверстниками чистых пород по всем параметрам, определяющим мясные качества туши.

Так, бычки калмыцкой породы I группы усту-

пали помесному молодняку II и III групп по массе полутуши на 12,1 кг (9,50 %, P>0,999) и 16,4 кг (12,87 %, P>0,999) соответственно.

В свою очередь, абердин-ангусские помеси II группы уступали помесям герефордской породы III группы на 4,3 кг (3,08 %, P>0,95).



Различия в массе туш между группами животных привели к неравномерному выходу съедобной части у бычков экспериментальных групп. Абсолютная масса мякоти была выше у гибридов II и III групп, где превосходство составило 12,51 кг (12,38 %, $P < 0,999$) и 14,46 кг (14,13 %, $P < 0,999$) соответственно. Относительная масса мякоти показала прирост в 2,00 % и 0,90 % соответственно.

Схожие различия между группами отмечались и по процентному соотношению мышечной ткани. Достаточно упомянуть, что мужские особи калмыцкой породы I группы уступали помесным животным II и III групп по абсолютной массе мышц на 10,5 кг (12,29 %, $P > 0,999$) и 12,33 кг (14,42 %, $P > 0,999$), относительной – на 1,71 % и 0,92 %.

Оценка бычков в экспериментальных группах, которая ранее основывалась на массе мышечной ткани и мякоти, также подтвердилась при исследовании жировых отложений туши. Следует подчеркнуть, что гибриды из II и III групп продемонстрировали превосходство над животными чистопородного разведения по абсолютному количеству жировой ткани, опередив их на 2,00 кг (11,89 %, $P > 0,95$) и 2,13 кг (12,66 %, $P > 0,95$) соответственно.

По относительной массе жира существенных межгрупповых различий не отмечалось.

Характерно, что по абсолютной массе мякоти и мышечной ткани преимущество было на стороне помесей герефордской породы III группы. Скрещенные с абердин-ангусской породой особи второй группы демонстрировали меньшую массу по исследуемым параметрам – на 1,95 кг (1,70 %, $P < 0,95$) и 1,82 кг (1,90 %, $P < 0,95$) соответственно, по сравнению с контрольной группой.

В то же время по относительной массе съедобной части туши и мышц абердин-ангусские помеси II группы превосходили помесей герефордской породы на 1,10 % и 0,79 %.

Известно, что значительное количество костей

в туше снижает ее товарную ценность с точки зрения питательности. Тем не менее, отсутствие хорошо сформированного скелета не позволяет достичь высокого качества мясной туши.

Анализ данных показывает, что туши бычков всех генотипов отличались нормальным развитием костной ткани. При этом по абсолютной ее массе помеси с герефордской породой III группы занимали лидирующее положение и превосходили сверстников I и II групп на 1,55 кг (7,22 %, $P < 0,95$) и 1,12 кг (5,11 %, $P < 0,95$).

При этом помеси с абердин-ангусской породой II группы отличались минимальной относительной массой костей и уступали по этому признаку сверстникам I и III групп на 0,31 % и 1,15 % при лидирующем положении бычков калмыцкой породы I группы.

Установлено, что туши помесей абердин-ангусской породы II группы отличались минимальным выходом соединительно-тканых образований. Бычки I и III групп превосходили их по абсолютной массе хрящей и сухожилий соответственно на 0,84 кг (30,11 %, $P < 0,95$) и 1,23 кг (44,09 %, $P < 0,95$), относительной – на 0,85 % и 0,79 %.

Известно, что качество и пищевая ценность мясной продукции обусловлены выходом съедобной части и мякоти. В то же время существенное влияние на эти признаки оказывает и соотношение структурных элементов мясной туши.

Результаты проведенного нами исследования и их последующий анализ указывают на значимую роль генетической составляющей бычков в формировании рассматриваемых характеристик (табл. 2).

Стоит отметить, что благодаря проявлению гетерозиса потомство от скрещивания, представленное молодняком II и III опытных групп, демонстрировало превосходство над чистопородными бычками I группы по параметрам качества мясной туши.

Таблица 2 – Показатели мясной продуктивности и тканевого состава туш чистопородных и помесных бычков в возрасте 18 месяцев, кг.

Показатель	Группа					
	I		II		III	
	показатель					
	M±m	Cv	M±m	Cv	M±m	Cv
Мякоти туши, всего	204,60±2,21	2,08	229,62±2,33***	2,13	233,52±2,38***	2,20
Мякоти на 1 кг костей	4,76±0,24	1,43	5,24±0,31	1,50	5,07±0,28	1,46
Соотношение съедоб- ной и несъедобной части туши	4,07±0,18	1,28	4,65±0,20	1,30	4,32±0,17	1,24
Выход мякоти туши на 100 кг предубой- ной живой массы	0,45±0,07	1,01	0,48±0,08	1,07	0,47±0,08	1,09

Исходя из массы мышечной ткани туши, данное превосходство составило 25,02 кг (12,23 %, $P > 0,999$) и 28,92 кг (14,13 %, $P > 0,999$) соответственно; по отношению к выходу мышечной тка-

ни на единицу массы костей (что является индексом мясности) – на 0,48 кг (10,08 %) и 0,31 кг (6,51 %); по соотношению удобоваримых и несъедобных частей туши – на 0,58 кг (14,25 %) и 0,25 кг



(6,14 %); по выходу мышечной ткани туши на каждые 100 кг живой массы перед убоем – на 0,03 кг (6,67 %) и 0,02 кг (4,44 %).

Установлено, что только по абсолютной массе мякоти туши герефордские помеси III группы превосходили абердин-ангусских помесей II группы на 3,9 кг (1,70 %, $P > 0,95$). По выходу мякоти на 1 кг костей, 100 кг предубойной живой массы и соотношению съедобных и несъедобных частей туши лидировали помеси абердин-ангусской породы II группы, которые превосходили герефордских помесей III группы по этим показателям на 0,17 кг (3,35 %), 0,01 кг (2,13 %) и 0,33 кг (7,64 %).

Заключение

В результате проведенной научной работы было выявлено, что комбинация коров калмыцкой породы с быками абердин-ангусской и герефордской пород, завезенных из Великобритании, положительно сказывается на качестве мясных туш гибридного потомства. Гибридизация способствует росту мясной продуктивности и улучшению пропорций съедобных и несъедобных частей, а также обогащает морфологический состав мясной туши и ее структурных компонентов. Исследования показали, что у бычков-гибридов наблюдается увеличение веса съедобной части туши на 12,38-14,13 % и ее доли в общем весе на 0,90-2,00 %. Анализ также выявил рост массы мышечной ткани в абсолютном выражении на 12,29-14,42 % и в относительном выражении на 1,71-0,92 %. Выход мякоти на килограмм костей увеличился на 6,51-10,08 %. При этом, если герефордские гибриды продемонстрировали лучшую динамику по абсолютным показателям структурных элементов туши, то абердин-ангусские гибриды превзошли их по относительным параметрам. Наиболее сбалансированные показатели отмечены у помесей абердин-ангусской породы (II группа), сочетающих высокий индекс мясности и низкий выход соединительно-тканых компонентов. Герефордские помеси (III группа) демонстрируют максимальный прирост абсолютной массы мякоти.

Практическое значение результатов исследования заключается в том, что внедрение в зоотехническую практику изученных нами вариантов межпородного скрещивания позволит добиться не только повышения мясной продуктивности помесей, но и позволит улучшить качественные характеристики мясной продукции. Эти результаты открывают перспективы для совершенствования методов отбора и разведения, а также для увеличения продуктивности в отрасли мясного животноводства.

Список источников

1. Никонова Е.А., Косилов В.И., Быстрова И.Ю., Правдина Е.Н. Убойные качества чистопородных и помесных телок, полученных от скрещивания красной степной и голштинской пород. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2020;4(48):41-46. DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.006

2. Завьялов О.А., Фролов А.Н., Харламов А.В. [и др.]. Мясная продуктивность и качество мяса

бычков-абердинангусской породы при различном уровне экстрадиола в сыворотке крови. *Ветеринария и кормление*. 2025;1:43-47. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-1-9

3. Майорова Ж.С., Федосова О.А., Торжков Н.И. [и др.]. Пивная дробина в кормлении молодняка крупного рогатого скота. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2020;2(46):34-41. DOI: 10.36508/RSATU.2020.96.75.005

4. Косилов В.И. и др. Развитие костной системы молодняка бестужевской породы и ее помесей с симменталами. *Аграрная наука*. 2024;(9):60-64. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-386-9-60-64

5. Стенькин, Н. И. Скрещивание бестужевской породы с герефордской и мясная продуктивность их помесей. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023;1(61):150-154. DOI 10.18286/1816-4501-2023-1-150-154.

6. Хакимов И. Н., Власова Н. И., Мударисов Р. М., Григорьев В. С. Продуктивность кроссбредного молодняка мясного скота. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023;2:45-52. DOI: 10.55170/19973225_2023_8_1_45

7. Хабибуллин И. М., Миронова И. В., Хабибуллин Р. М. [и др.]. Эффективность использования адаптогенов различного происхождения на мясную продуктивность крупного рогатого скота. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022;4:94-102. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-4-94-102

8. Юлдашбаев Ю. А., Косилов В. И., Кубатбеков Т. С. [и др.] Влияние генотипа бычков на морфологический состав туши. *Аграрная наука*. 2022;2:43-46. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-43-46

9. Никонова Е.А., Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И. Влияние двух-трехпородного скрещивания молодняка разного пола и направления продуктивности на потребление и использование питательных веществ рациона. *Аграрная наука*. 2022;9:59-64. DOI 10.32634/0869-8155-2022-362-9-59-64.

10. Седых Т. А. Калашникова Л. А., Гизатуллин Р. С., Косилов В. И. Качество туш мясного скота различных генотипов по гену тиреоглобулина (TG5). *Зоотехния*. 2020;7:4-8. DOI: 10.25708/ZT.2020.98.58.002

11. Быстрова И.Ю., Герасимов А.А., Политова М.А., Никитина С.В., Горичев А.Л. Экстерьерные особенности скота галловейской породы в разных регионах России. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2025;17(2):13-19. DOI: 10.36508/RSATU.2025.21.65.003

12. Герасимов А. А., Быстрова И. Ю., Политова М. А. [и др.]. Влияние породы и пола на рост телят специализированных мясных пород. *Зоотехния*. 2025;11:23-25. DOI: 10.25708/ZT.2025.74.82.006

13. Никитина С. В., Герасимов А. А., Быстрова И. Ю. [и др.]. Влияние сезона отела коров на продуктивные показатели потомства в мясном



скотоводстве. *Зоотехния*. 2025;11:20-22. DOI: 10.25708/ZT.2025.47.65.005

14. Корепанов И. С., Седых Т. А., Гареева Д. И. [и др.]. Изменчивость показателей весового роста молодняка лимузинской породы различных генотипов по генам SCD1 и FABP4. *Зоотехния*. 2026;2:6-10. DOI: 10.25708/ZT.2026.46.59.002

15. Газеев И. Р., Карамеев С. В., Карамеева А. С. [и др.]. Особенности весового роста чистопородных и помесных бычков калмыцкой породы при введении в рацион сенажа с биоконсерван-

том. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2026; 1(117):227-233. DOI: 10.37670/2073-0853-2026-117-1-227-233

16. Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Никонова Е.А. [и др.]. Пищевая и энергетическая ценность мясной продукции телок разных пород и разного направления продуктивности при интенсивном выращивании. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025;5:135-147. DOI: 10.26897/0021-342X-2025-5-135-147

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Nikonova E.A., Kosilov V.I., Bystrova I.Yu., Pravdina E.N. Effect of absorption crossing on young cattle carcass. *Herald of the Ryazan State agrotechnological university named after P.A. Kostychev*. 2020;4(48):41-46. (In Russ.). DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.006

2. Zavyalov O.A., Frolov A.N., Kharlamov A.V. [et al.]. Meat productivity and beef quality of Aberdeen-Angus bulls at different levels of estradiol in blood serum. *Veterinaria i kormlenie*. 2025;1:43-47. (In Russ.). DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-1-9

3. Mayorova ZH.S., Fedosova O.A., Torzhkov N.I. [et al.]. Spent grain in feeding young cattle. *Herald of the Ryazan State agrotechnological university named after P.A. Kostychev*. 2020;2(46):34-41. (In Russ.). DOI: 10.36508/RSATU.2020.96.75.005

4. Kosilov V.I. [et al.]. Development of the bone system of young Bestuzhev breed and its crossbreeds with simmentals. *Agrarian science*. 2024;(9):60–64. (in Russ.). DOI: 10.32634/0869-8155-2024-386-9-60-64

5. Stenkin, N. I. Crossing of bestuzhev breed with hereford breed and meat productivity of their crossbreeds. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2023;1(61):150-154. (in Russ.). DOI 10.18286/1816-4501-2023-1-150-154.

6. Khakimov, I. N., Vlasova, N. I., Mudarisov, R. M. & Grigoriev, V. S. Productivity of crossbred young beef cattle. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2023;2:45-52. (in Russ.). DOI: 10.55170/19973225_2023_8_1_45

7. Khabibullin I.M., Mironova I.V., Khabibullin R.M. [et al.]. Efficiency of use of adaptogens of different origins on the meat productivity of cattle. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2022;4:94-102. (in Russ.). DOI: 10.26897/0021-342X-2022-4-94-102

8. Yuldashbaev YU.A., Kosilov V.I., Kubatbekov T.S. [et al.]. Influence of the bull genotype on the morphological composition of the carcass. *Agrarian science*. 2022;2:43-46. (in Russ.). DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-43-46

9. Nikonova E.A., Yuldashbaev Y.A., Kosilov V.I. The influence of two- or three-breed crossing of young animals of different sexes and directions of productivity on the intake and use of dietary nutrients. *Agrarian science*. 2022;9:59-64. (in Russ.). DOI 10.32634/0869-8155-2022-362-9-59-64.

10. Sedykh T.A., Kalashnikova L.A., Gizatullin R.S., Kosilov V.I. The quality of carcasses of beef cattle of different genotypes of the thyroglobulin (TG5) gene). *Zootechniya*. 2020;7:4-8. (in Russ.). DOI: 10.25708/ZT.2020.98.58.002

11. Bystrova I.Yu., Gerasimov A.A., Politova M.A., Nikitina S.V., Gorichev A.L. Exterior features of galloway cattle in different regions of Russia. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2025;17(2):13-19. (in Russ.). DOI: 10.36508/RSATU.2025.21.65.003

12. Gerasimov A.A., Bystrova I.YU., Politova M.A. [et al.]. The effect of breed and sex on the live weight of beef cattle. *Zootechniya*. 2025;11:23-25. (in Russ.). DOI: 10.25708/ZT.2025.74.82.006

13. Nikitina S.V., Gerasimov A.A., Bystrova I.YU. [et al.]. The impact of the calvary season on the productive indicators of fertilized cows in meat cattle farming. *Zootechniya*. 2025;11:20-22. (in Russ.). DOI: 10.25708/ZT.2025.47.65.005

14. Korepanov I.S., Sedykh T.A., Gareeva D.I. [et al.]. Variability of weight growth indicators in young limousine cattles of different genotypes for the SCD1 and FABP4 genes. *Zootechniya*. 2026;2:6-10. (In Russ.). DOI: 10.25708/ZT.2026.46.59.002

15. Gazeev I.R., Karamaev S.V., Karamaeva A.S. [et al.]. Features of weight growth of purebred and mongrel calves of the Kalmyk breed when introduced into the diet of hayloft with bioconservant. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2026;117(1): 227-233. (In Russ.). DOI: 10.25708/ZT.2026.46.59.002

16. Yuldashbaev Yu.A., Kosilov V.I., Nikonova E.A., [et al.]. Nutritional and energy value of meat products from heifers of different breeds and production types under intensive rearing. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025;5:135-147. (In Russ.). DOI: 10.26897/0021-342X-2025-5-135-147



Authors' contribution:

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

The authors declare no conflict of interest.

Информация об авторах

Косилов Владимир Иванович, д-р с.-х. наук, профессор, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», г. Оренбург, Россия, kosilov_vi@bk.ru

Никонова Елена Анатольевна, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», г. Оренбург, Россия, nikonovaEA84@mail.ru

Юлдашбаев Юсупжан Артыкович, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, зав. кафедрой частной зоотехнии института зоотехнии и биотехнологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева», г. Москва, Россия, yuldashbaev@rgau-msha.ru

Калякина Раиля Губайдуловна, канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», г. Оренбург, Россия, kalyakina_railya@mail.ru

Рахимжанова Ильмира Агзамовна, д-р с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой электротехнологии и электрооборудование ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», г. Оренбург, Россия, kaf36@orensau.ru

Author Information

Vladimir I. Kosilov, D.Sc. (Agriculture), Professor, Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia, kosilov_vi@bk.ru

Elena A. Nikonova, D.Sc. (Agriculture), Associate Professor, Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia, nikonovaEA84@mail.ru

Yusupzhan A. Yuldashbayev, D.Sc. (Agriculture), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Private Animal Science at the Institute of Animal Science and Biotechnology Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia, yuldashbaev@rgau-msha.ru

Railya G. Kalyakina, Cand.Sc. (Biology), Associate Professor, Orenburg State Agrarian University, Orenburg Region, Orenburg, Russia, kalyakina_railya@mail.ru

Ilmira A. Rakhimzhanova, D.Sc. (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia, kaf36@orensau.ru

Статья поступила в редакцию 22.04.2026; одобрена после рецензирования 5.07.2026; принята к публикации 16.09.2026

The article was submitted 22.04.2026; approved after reviewing 5.07.2026; accepted for publication 16.09.2026





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.853.494:631.811
DOI 10.36508/RSATU.2026.95.22.007

**ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ МАСЛИЧНОЙ КУЛЬТУРЫ ЛЯЛЛЕМАНЦИИ (LALLEMANTIA)
ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В СРЕДНЕЕ ПОВОЛЖЬЕ**

Татьяна Яковлевна Прахова¹✉, Наталия Геннадьевна Чернышова¹

¹ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Россия

✉ prakhova.tanya@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Ляллеманция – перспективная нетрадиционная масличная культура с высоким содержанием жирного масла в семенах, которая может стать достойной альтернативой льну и другим масличным культурам. Данная культура относится к группе растений, обладающих высокой экологической пластичностью, адаптивностью и засухоустойчивостью. Цель исследования – оценка продуктивности ляллеманции при интродукции ее в условиях Среднего Поволжья для расширения видового разнообразия масличных культур.

Методология. В статье представлены результаты полевого опыта, заложенного в 2024-2025 годах на опытном поле Пензенского НИИСХ в соответствии с общепринятой методикой проведения полевых и агротехнических опытов с масличными культурами. В качестве объекта исследований использовали четыре образца ляллеманции (Краснодарский край) и сорт Мира (Ставропольский край). Посев проводили в 1 декаде мая, рядовым способом.

Результаты. Установлено, что урожайность семян ляллеманции в среднем за 2 года была достаточно высокой и составила 1,49-1,67 т/га. Образцы К-20 и К-21 сформировали максимальную урожайность (1,64 и 1,67 т/га), что на 0,04 и 0,07 т/га превышала среднесортовой показатель и на 1,8-10,8 % другие сортообразцы. Это подтверждается высокими показателями структуры урожая, которые изменялись по образцам незначительно, коэффициент вариации составил 2,9-8,9 %. Содержание жирного масла в семенах варьировало от 35,4 до 37,8 % в зависимости от сортообразца. Наибольшая масличность зафиксирована у сорта Мира – 37,8 %. Анализ жирнокислотного состава показал наличие 17 жирных кислот. Содержание линоленовой кислоты было максимальным и варьировало от 64,10 % у образца К-17 до 66,43 % у сорта Мира. Содержание линолевой кислоты составило 13,11-13,83 %. Концентрация олеиновой кислоты варьировала в пределах 10,96-11,84 %.

Заключение. Ляллеманция является перспективной масличной культурой для интродукции и возделывания в условиях лесостепи Среднего Поволжья для расширения ассортимента возделываемых масличных культур в регионе. Из-за высокого выхода масла и сбалансированного содержания в нем жирных кислот ляллеманция может считаться богатым источником незаменимых жирных кислот для различных целей использования.

Ключевые слова: ляллеманция, интродукция, сортообразцы, урожайность, масличность, структура урожая, жирнокислотный состав

Для цитирования: Прахова Т. Я., Чернышова Н. Г. Оценка продуктивности масличной культуры ляллеманции (Lallemantia) при интродукции в среднее Поволжье // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т. 18, № 3, С.52-59 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.95.22.007>

Original article

**EVALUATION OF THE PRODUCTIVITY OF THE OILSEED CROPS LALLEMANTIA (LALLEMANTIA)
WHEN INTRODUCTION INTO THE MIDDLE VOLGA REGION**

Tatyana Ya. Prakhova¹✉, Natalia G. Chernyshova¹

FSBRI «Federal Research Center for Bast Fiber Crops», Tver, Russia

✉ prakhova.tanya@yandex.ru



Abstract.

Problem and purpose. *Lallemantia* is a promising alternative oilseed crop with a high fatty oil content in its seeds, which could become a worthy alternative to flax and other oilseeds. This crop belongs to a group of plants characterized by high ecological plasticity, adaptability, and drought tolerance. The objective of this study was to evaluate the productivity of *Lallemantia* when introduced to the Middle Volga region to expand the diversity of oilseed crops.

Methodology. The article presents the results of a field experiment conducted in 2024–2025 on the experimental field of the Penza Research Institute of Agriculture in accordance with the generally accepted methodology for conducting field and agrotechnical experiments with oilseed crops. Four samples of *Lallemantia* (Krasnodar Krai) and the Mira variety (Stavropol Krai) were used as the object of research. Sowing was carried out in the first ten days of May, using the row method.

Results. It was established that the average yield of *Lallemantia* seeds over 2 years was quite high and amounted to 1.49–1.67 t/ha. Samples K-20 and K-21 produced the maximum yield (1.64 and 1.67 t/ha), which was 0.04 and 0.07 t/ha higher than the average variety indicator and 1.8–10.8% higher than other variety samples. This is confirmed by high indicators of the crop structure, which varied slightly across samples, the variation coefficient was 2.9–8.9%. The fatty oil content of the seeds varied from 35.4 to 37.8% depending on the variety. The Mira variety had the highest oil content at 37.8%. Fatty acid analysis revealed the presence of 17 fatty acids. The content of linolenic acid was maximum and varied from 64.10% in the K-17 sample to 66.43% in the Mira variety. The linoleic acid content was 13.11–13.83%. The oleic acid concentration varied within the range of 10.96–11.84%.

Conclusion. *Lallemantia* is a promising oilseed crop for introduction and cultivation in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region to expand the range of cultivated oilseed crops in the region. Due to the high oil yield and balanced fatty acid content, *Lallemantia* can be considered a rich source of essential fatty acids for various uses.

Key words: *Lallemantia*, introduction, varieties, yield, oil content, yield structure, fatty acid composition

For citation: Prakhova T. Ya., Chernyshova N. G. Evaluation of the productivity of the oilseed crops *lallemantia* (*Lallemantia*) when introduction into the Middle Volga region // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No.3, P. 52–59 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.95.22.007>

Введение

В последнее время в России большое внимание привлекают масличные культуры, и не только традиционные, но и малораспространенные, так называемые «нишевые», благодаря своим ценным качествам и свойствам, что составляет основу технического сырья для различных отраслей промышленности [2,4]. Например, с точки зрения питания человека важным является не только потребляемое количество, но и состав, качество и вид масла, а постоянно растущий спрос на различные диетические продукты, диктует необходимость поиска новых видов масличных растений с различным жирно-кислотным составом маслосемян [3,10]. Поэтому сегодня на прилавках супермаркетов можно встретить пищевые масла из нетрадиционных культур (рыжика, сафлора, кунжута, черного тмина, рапсуса, амаранта и других).

Ляллеманция (*Lallemantia* spp.) – малоизученная в массовой агрономии в России культура, однако достаточно широко распространенная в за рубежом, о чем свидетельствует множество иностранных публикаций [12,15]. Ляллеманция представляет собой травянистое растение, высотой 40–70 см, семейства яснотковых, родиной которой считается Малая Азия. В диком виде она встречается в полупустынях и пустынях Центральной Азии, а также в Европе. Род ее включает всего 5 видов, но в качестве масличной культуры возделывают ляллеманцию иберийскую (*Lallemantia iberica*), которая известна как голова иберийского дракона или голова льва [9,14]. Цветки ее мелкие, окрашенные в голубой, розовый или белый цвет, собраны в ложные мутовки, которые, в свою очередь, образуют колосовидные соцветия. Плод представлен коробочкой, содержащей три-четыре

семена, имеющие темно-серый или темно-коричневый цвет [5,17] (рис.1).



Рис. 1 – Соцветие и семена ляллеманции
Fig. 1 – Inflorescence and seeds of *Lallemantia*

По биологическим особенностям ляллеманция относится к растениям, у которых преобладает са-



моопыление. Это культура достаточно скороспелая, вегетационный период ее составляет от 65 до 80 дней и варьирует в зависимости от сортов и условий возделывания [7,13]. К теплу и влаге ляллеманция нетребовательна, можно сказать, даже достаточно холодостойкая (минимальная температура прорастания семян $2-3^{\circ}\text{C}$). Всходы переносят заморозки до $-6-8^{\circ}\text{C}$. Отличительной особенностью культуры является то, что в сухую погоду зубчатые края чашечки на созревшем растении сомкнуты, чашечка закрыта, и в таком состоянии можно отметить неосыпаемость культуры. Однако в дождливую погоду зубчики открываются наружу, чашечка открывается и происходит осыпание семян [5,11]. Ляллеманция также не требовательна к составу и плодородию почвы, однако на черноземах она дает наиболее высокие урожаи.

Исследования Vafa Z.N. с соавторами [16] показали, что ляллеманция очень чувствительна к засухе и демонстрирует замедление роста, снижение эффективности использования воды, а также большую вариативность в урожайности семян и накоплении вторичных метаболитов в условиях дефицита воды. При этом другие исследователи отмечают ее высокую засухоустойчивость и солеустойчивость [11,14].

Возделывают ляллеманцию для получения семян, которые содержат до 23-35 % жирного масла, близкого по качеству к конопляному и перилловому, которое используется в пищевой [8] и технической промышленности [15]. Следует отметить, что ляллеманция как ценное масличное растение отмечалась еще И. Стебутом в 70-х годах XIX в.

Масло ляллеманции отличается высоким содержанием ценной жирной кислоты омега-3, альфа-линоленовой (67-74 %), превышающей таковую в льняном масле [3,12]. Зарубежными исследователями установлено, что масло ляллеманции по параметру высыхаемости и качеству образуемой им пленки занимает одно из первых мест среди растительных технических масел [7,15].

Кроме этого, во многих азиатских регионах семена ляллеманции используются в традиционной медицине как стимулирующее, мочегонное и отхаркивающее средство [3,6], вероятно, из-за наличия таких компонентов, как п-цимен, изофитол, t-кадиол, 3-октанол, терпинен-4-ол [14]. Кроме этого, ляллеманция содержит флавоноиды, алкалоиды, эфирное масло, углеводы, стероид бета-ситостерин, микро- и макроэлементы [11].

Существует историческая справка, что в конце 1930-х - начале 1940-х годов ляллеманцию пытались выращивать как масличную культуру в Пермском и Краснодарском краях. В колхозе им. Ворошилова был засеян опытный участок в 1 га, где урожайность ляллеманции превзошла все ожидания: при затрате 8 кг семян получили 589,68 кг/га (36 пудов), это было больше в три раза, чем урожай льна, и из них получилось превосходное на вкус масло. Но, несмотря на это, культура не получила широкого распространения в сельскохозяйственном производстве России.

В настоящее время, ляллеманция возделыва-

ется в ограниченных количествах, и в основном только за границей, где главный интерес к ней проявляется как к пищевой культуре, который основан на высоком содержании масла [8,12,15].

На территории России небольшие исследования с данной культурой проводятся на Северном Кавказе и в Ставропольском крае. В результате чего в 2025 году в Государственный реестр селекционных достижений РФ включен один сорт ляллеманции – Мира, который на сегодняшний день является единственным. Оригинатором сорта является Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр (Ставропольский край).

Изучив различные научные публикации [5,14,16] по исследованию ляллеманции, можно отметить, что данная культура по своей стратегии выживания относится одновременно и к растениям-пациентам, и к растениям-виолентам, так как ей присущи высокая пластичность, адаптивность и приспособляемость к стрессовым условиям, в том числе устойчивость к засухе. В связи с этим исследования по интродукции перспективной масличной культуры ляллеманции и оценке ее продуктивности в различных экологических условиях являются весьма актуальными.

Цель исследования – оценка возможности интродукции ляллеманции и ее продуктивности в условиях лесостепи Среднего Поволжья для расширения ассортимента возделываемых масличных культур в регионе.

Объекты и методы исследования

Исследования были выполнены в 2024-2025 гг. на опытном участке ФГБНУ ФНЦ ЛК (ОП Пензенский НИИСХ). При закладке опыта опирались на методику проведения полевых и агротехнических опытов с масличными культурами [1]. В качестве объекта исследований использовали четыре образца ляллеманции из Краснодарского края и сорт Мира (Ставропольский край), который был зарегистрирован в 2025 году и допущен к выращиванию во всех регионах с целью получения масла. Продолжительность его вегетации составляет 75 дней, он отличается устойчивостью к полеганию и засухе. Цветки характеризуются желтовато-белой окраской, а семена темно-коричневого цвета. По данным авторов урожайность семян ляллеманции в среднем составляет 10,6 ц/га при масличности – 33,7 %, масса тысячи семян – 4,8 г.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный, среднемощный (содержание гумуса составляет 5,6 %), реакция почвенного раствора слабокислая ($\text{pH} = 5,2$). Почвы опытного участка достаточно обеспечены элементами питания. Содержание в почве легкогидролизуемого азота составляло 135,8 мг/кг почвы (по Тюрину и Кононовой), подвижного фосфора – 170,9 мг/кг почвы и обменного калия – 204,7 мг/кг почвы (по Чирикову).

Предшественником в опыте был чистый пар, где применялась классическая система подготовки паров в регионе, которая состоит из осеннего лущения стерни предшествующей культуры на глубину 7-10 см, вспашки на глубину 20-22 см и послойных мелких культиваций в течение лета.



Весной проводили ранневесеннее боронование и предпосевную культивацию. Минеральные удобрения в опыте не применялись. Посев ляллеманции проводили рядовым способом, в первой декаде мая с нормой высева 4,0 млн всхожих семян на 1 га. Опыт закладывали на делянках площадью 5 м² в четырехкратной повторности. Уборка проводилась прямым способом в фазу полной спелости

культуры селекционным комбайном «Неге».

Погодные условия в годы исследований отличались контрастностью как в целом за вегетацию, так и по отдельным фазам развития. В 2024 году период вегетации характеризовался как засушливый (ГТК = 0,50), тогда как в 2025 году наблюдалось избыточное увлажнение (ГТК = 1,27) (рис. 2).

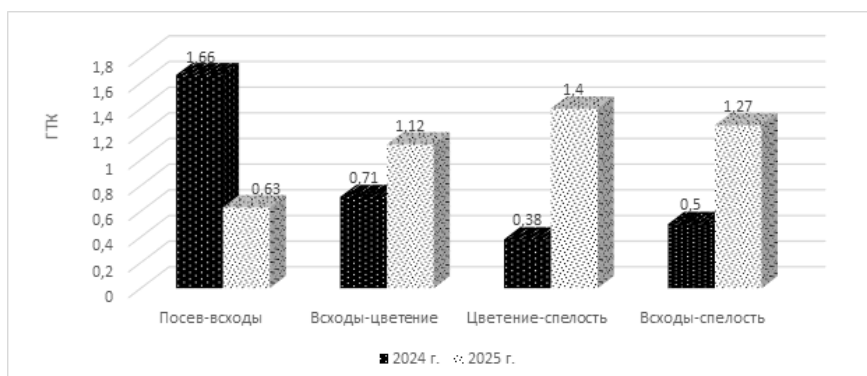


Рис. 2 – Гидротермический коэффициент по фазам развития ляллеманции
Fig. 2 – Hydrothermal coefficient for the phases of Lallemania development

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных исследований было установлено, что основные элементы, составляющие структуру урожая ляллеманции, изменились по образцам незначительно, коэффициент

вариации составил 2,9-8,9 %. Например, число коробочек (орешков) на одном растении у ляллеманции варьировало от 197,8 штук у сортобразца К-20 до 212,6 штук у образца К-17 (табл. 1).

Таблица 1 – Структурные элементы урожайности ляллеманции (2024-2025 гг.)

Сортообразец	Высота растений, см	Число ветвей на растении, шт.	Число коробочек (орешков) на растении, шт.	Масса семян с 1 растения, г	Масса 1000 семян, г
Мира	60,5	6,2	199,5	2,12	4,56
К-17	57,9	6,8	212,6	2,55	4,82
К-19	68,6	6,7	200,6	2,08	4,49
К-20	66,2	7,8	197,8	2,34	4,47
К-21	63,1	6,5	202,2	2,16	4,65
Среднее	63,3	6,8	202,5	2,25	4,60
V, %	6,8	8,9	2,9	8,7	3,1
НСР ₀₅	1,12	0,95	5,42	0,21	0,06

Наиболее высокой изменчивостью отличались признаки «масса семян с одного растения» (V = 8,7 %) и «число ветвей на одном растении» (V = 8,9 %). Максимальная семенная продуктивность установлена у образцов К-17 и К-20. Масса семян с одного растения у них составила 2,55 г и 2,34 г, что на 0,30 г и 0,09 г выше среднего значения по всем сортобразцам. Наибольшее число ветвей (7,8 штук) на одном на растении сформировалось у номера К-20, которое существенно (на 1,0 штук) превышало среднесортное значение.

В среднем за годы исследований ляллеманция сформировала крупные и выравненные семена, масса 1000 семян которых составила 4,47-4,82 г. Максимальный показатель «массы 1000 семян» отмечен у сортобразца К-17, который на 0,22 г превышал среднесортной.

Несмотря на различные погодные условия,

урожайность семян ляллеманции в среднем за 2 года была достаточно высокой и составила 1,49-1,67 т/га (табл. 2).

Образцы К-20 и К-21 сформировали максимальную урожайность (1,64 и 1,67 т/га), что на 0,04 и 0,07 т/га превышала среднесортной показатель и на 1,8-10,8 % остальные сортобразцы. У сорта Мира и образца К-19 урожайность семян составила 1,58 и 1,49 т/га, что было ниже среднего показателя на 0,02 и 0,11 т/га.

При оценке качественных показателей семян ляллеманции выявлено, что содержание жирного масла в них варьировало в пределах 35,4-37,8 % в зависимости от сортобразца. Максимальное содержание масла в семенах отмечено у образца К-20 (37,1 %) и сорта Мира (37,8 %). Наименьшая масличность зафиксирована у образцов К-19 и К-17 – 35,4 и 35,5 % соответственно. Кроме это-



го, в маслосеменах в ходе исследований было идентифицировано 17 жирных кислот, из которых шесть основных имели содержание, не превышающее 1,0 %. Полученный жирнокислотный со-

став семян ляллеманции согласуется с данными, представленными в работах F. Zamani с соавторами и других иностранных исследователей [15].

Таблица 2 – Урожайность и содержание жирного масла в семенах ляллеманции (2024-2025 гг.)

Сортообразец	Урожайность, т/га	Масличность, %
Мира	1,58	37,8
К-17	1,61	35,4
К-19	1,49	35,5
К-20	1,64	37,1
К-21	1,67	36,1
Среднее	1,60	36,4
НСР ₀₅	0,04	0,87

В составе масла ляллеманции преобладала линоленовая кислота, содержание которой варьировало от 64,10 % (образец К-17) до 66,43 % (сорт Мира). Уровень линолевой кислоты у всех образцов был близким – 13,11-13,83 %. Концен-

трация олеиновой кислоты колебалась в пределах 10,96-11,84 %, причем минимальное значение отмечено у образца К-21, максимальное – у К-17 (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание основных жирных кислот в маслосеменах ляллеманции (2024-2025 гг.)

Жирная кислота, %	Мира	К-19	К-21	К-20	К-17
Пальмитиновая	5,68	5,19	5,85	5,71	5,96
Стеариновая	1,73	1,72	1,76	1,80	1,84
Олеиновая	11,72	11,45	10,96	11,38	11,84
Линолевая	13,24	13,11	13,16	13,83	13,45
Линоленовая	66,43	65,74	66,25	64,91	64,10
Эйкозеновая	1,37	1,33	1,18	1,32	1,22
Эруковая	0,14	0,15	0,23	0,17	0,28
Нервоновая	0,11	0,12	0,11	0,10	0,09

Среди насыщенных кислот наибольшая доля приходится на пальмитиновую кислоту (5,19-5,96 %). На долю стеариновой и эйкозеновой кислот приходится соответственно 1,72-1,84 % и 1,18-1,37 %, наибольшее содержание которых отмечено соответственно у образцов К-17 и Мира. Суммарное содержание минорных кислот (содержание которых меньше 1,0 %) составляет 1,07-1,17 %.

Сравнивая сортообразцы ляллеманции, можно отметить, что по жирнокислотному составу их маслосемян они были очень близки, что является доказательством того, что ни региональный климат, ни сорт не оказывают существенного влияния на состав и соотношение жирных кислот.

Содержание эруковой кислоты зависит главным образом от вида культуры и ее сортовых особенностей, уровень ее в маслосеменах ляллеманции изменялся от 0,14 до 0,28 %.

Сортообразец К-17 содержал немного меньше

линоленовой кислоты и немного больше олеиновой и пальмитиновой кислот, что характеризует его масло как менее ненасыщенное, чем у других образцов.

В целом полученные результаты свидетельствуют о перспективности ляллеманции как масличной культуры для интродуцирования в условиях лесостепи Среднего Поволжья. За годы исследований она обеспечила достаточно высокую урожайность семян – до 1,49-1,67 т/га, при масличности 35,4-37,8 %. При этом между разными сортообразцами существенных различий не выявлено.

Благодаря высокому выходу масла, сбалансированного по жирнокислотному составу, ляллеманция представляет собой ценный источник полиненасыщенных жирных кислот омега-3 (линоленовая) и омега-6 (линолевая). По этому показателю она способна успешно конкурировать со льном и другими масличными культурами как



в промышленном производстве, так и в производстве диетических продуктов.

Закключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В условиях Среднего Поволжья лямлеманция сформировала достаточно высокую урожайность семян (1,49-1,67 т/га). Максимальная урожайность (1,64 и 1,67 т/га) отмечена у сортообразцов К-20 и К-21, которая на 1,8-10,8 % превышала остальные сортообразцы.

2. Все изучаемые сортообразцы лямлеманции отличались высоким содержанием жирного масла (35,4-37,8 %). Наибольшая масличность семян отмечена у образца К-20 (37,1 %) и сорта Мира (37,8 %), что на 0,7 и 1,4 % было выше среднесортového значения.

3. Лямлеманция является ценной масличной культурой, которая отличается высоким содержанием ценной жирной кислоты омега-3 (64,10-66,43 %). Наиболее высокая концентрация линоленовой кислоты отмечена у сорта Мира (66,43 %) и у образца К-21 (66,25 %). Сортообразец К-17 содержал больше олеиновой и пальмитиновой кислот, что характеризует его масло как менее ненасыщенное, чем у других образцов.

4. Лямлеманция является перспективной масличной культурой для интродукции и возделывания в условиях лесостепи Среднего Поволжья для расширения ассортимента возделываемых масличных культур в регионе.

Список источников

1. Лукомец В.М. и др. Методика проведения полевых и агротехнических опытов с масличными культурами. Краснодар: ВНИИМК, 2010. 323 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21792553>.
2. Прахова Т.Я. Характеристика адаптивного потенциала возделывания нетрадиционных масличных культур в условиях Среднего Поволжья. *Кормопроизводство*. 2024; 9:23-28. DOI: 10.30906/1562-0417-2024-9-23-28.
3. Звездина Е.В., Дайронас Е.В., Бочкарева И.И. [и др.]. Представители семейства Lamiaceae Lindl. как источники лекарственного растительного сырья для получения нейротропных средств (обзор). *Фармация и фармакология*. 2020;8(1):4-28. DOI: 10.19163/2307-9266-2020-8-1-4-28.
4. Серков В.А., Кабунина И.В., Ростовцев Р.А. Использование сортов отечественной селекции в коноплеводстве Российской Федерации. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2024;1(397):90-93. DOI: 10.55186/25876740_2024_67_1_90.
5. Paravar A., Hay F. R., Abdollahi F., Pritchard H. W. Assessment of Physio-biochemical Processes During Seed Filling in Lallelantia Species Under Drought Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2025. DOI 10.1007/s00344-025-11906-1.
6. Çelik A. K., Yılmaz Sancar P., Icen Taskin I., Kürşat M. Investigation of the cytotoxic effect of Lallelantia Fisch. & C.A. Mey. species growing in Türkiye on various cancer cell lines. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. 2024;25(1):104-

110. DOI 10.17474/artvinofd.1403978.

7. Khoshghadam-Pireyousefan V, Zehtab-Salmasi S, Shafagh-Kolvanagh J. Yield, yield components, and essential oil content of dragon's head (*Lallelantia iberica*) intercropped with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Plant Physiology and Breeding*. 2022;12(2):33-43. DOI: 10.22034/JPPB.2022.16310.

8. Maleki Farahani S, Rezazadeh A, Paravar A. Influence of seed moisture content and storage period on germination and biochemical indices: *Lallelantia iberica* and *Lallelantia royleana*. *Scientific Reports*. 2025;15(1):4462. DOI: 10.1038/s41598-025-88881-w.

9. Manzano EM. Impact of Sowing Methods on Morphological, Yield and Seed Quality Traits of *Salvia hispanica* Accessions and *Lallelantia royleana*. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2025;34(05):340507. DOI: 10.17957/ijab/15.2392.

10. Mirdoraghi M, Maleki Farahani S, Rezazadeh A. Strip Intercropping With Chickpea Supports Production of a Valuable Medicinal Oilseed. *Legume Science*. 2025;7(4):e70051. DOI: 10.1002/leg3.70051.

11. Nadimi S, Moazzami Farida SH. Chitosan nanoparticles enhance salinity tolerance in *Lallelantia iberica* by modulating physiological and biochemical responses. *Plant Nano Biology*. 2026;15:100245. DOI: 10.1016/j.plana.2026.100245.

12. Zamani F., Amirnia R., Rezaei-Chiyaneh E. [et al.]. Optimizing essential oil, fatty acid profiles, and phenolic compounds of dragon's head (*Lallelantia iberica*) intercropped with chickpea (*Cicer Arietinum* L.) with biofertilizer inoculation under rainfed conditions in a semi-arid region. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2023;9(69):1687-1704. DOI: 10.1080/03650340.2022.2105320.

13. Paravar A., Maleki Farahani S., Rezazadeh A. Morphological, physiological and biochemical response of *Lallelantia* species to elevated temperature and light duration during seed development. *Heliyon*. 2023;4 (9):E15149. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e15149.

14. Naservafaei S., Sohrabi Y., Moradi P. [et al.]. Salicylic Acid Concentration Effects on Drought Resistance and Physiological Traits in Dragon's Head (*Lallelantia iberica*). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2025;25:2387-2400. DOI: 10.1007/s42729-025-02273-7.

15. Suarez Y., Suarez A. *Lallelantia Ibérica*, una oleaginosa de interés agrícola y ganadero. *Anales de la Facultad de Veterinaria de Leon*. 2025;5:19-27. DOI: 10.18002/analesdeveterinaria.v5.8829.

16. Vafa Z. N., Sohrabi Y., Barasarathi Ja. [et al.]. Nano-silicon enhances drought tolerance, yield stability, and bio-active compounds in *Lallelantia iberica* under water deficit conditions. *Scientific Reports*. 2026; 16(1):8127. DOI 10.1038/s41598-026-38869-x.

17. Yaseen A.F., Basra S.M.A., Yaseen A. Impact of sowing methods on morphological, yield and seed quality traits of *Salvia hispanica* accessions and *Lallelantia royleana*. *Intl. J. Agric Biol*. 2025;34:340507. DOI: 10.17957/IJAB/15.2392.



Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Lukomets V.M. et al. Metodika provedeniya polevykh i agrotekhnicheskikh opytov s maslichnymi kul'turami (Methodology for conducting field and agrotechnical experiments with oil crops). Krasnodar: VNIIMK, 2010. 323 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21792553>.
2. Prakhova T. Ya. Characteristics of the adaptive potential of cultivating non-traditional oil crops under the conditions of the Middle Volga region. *Kormoproizvodstvo*. 2024;9:23-28. (in Russ.). DOI: 10.30906/1562-0417-2024-9-23-28.
3. Zvezdina E.V., Dayronas J.V., Bochkareva I.I. [et al.]. Members of the family Lamiaceae Lindl. as sources of medicinal plant raw materials to obtain neurotropic drugs. *Pharmacy & Pharmacology*. 2020;8(1):4-28. (in Russ.). DOI: 10.19163/2307-9266-2020-8-1-4-28.
4. Serkov V.A., Kabunina I.V., Rostovtsev R.A. Use of domestic breeding varieties in the hemp industry of the Russian Federation. *International agricultural journal*. 2024;1(397):90-93. (in Russ.). DOI: 10.55186/25876740_2024_67_1_90.
5. Paravar A., Hay F. R., Abdollahi F., Pritchard H. W. Assessment of Physio-biochemical Processes During Seed Filling in Lallelantia Species Under Drought Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2025. DOI 10.1007/s00344-025-11906-1.
6. Çelik A. K., Yılmaz Sancar P., Icen Taskın I., Kürşat M. Investigation of the cytotoxic effect of Lallelantia Fisch. & C.A. Mey. species growing in Türkiye on various cancer cell lines. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. 2024;25(1):104-110. DOI 10.17474/artvinofd.1403978.
7. Khoshghadam-Pireyousefan V, Zehtab-Salmasi S, Shafagh-Kolvanagh J. Yield, yield components, and essential oil content of dragon's head (*Lallelantia iberica*) intercropped with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Plant Physiology and Breeding*. 2022;12(2):33-43. DOI: 10.22034/JPPB.2022.16310.
8. Maleki Farahani S, Rezazadeh A, Paravar A. Influence of seed moisture content and storage period on germination and biochemical indices: *Lallelantia iberica* and *Lallelantia royleana*. *Scientific Reports*. 2025;15(1):4462. DOI: 10.1038/s41598-025-88881-w.
9. Manzano EM. Impact of Sowing Methods on Morphological, Yield and Seed Quality Traits of *Salvia hispanica* Accessions and *Lallelantia royleana*. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2025;34(05):340507. DOI: 10.17957/IJAB/15.2392.
10. Mirdoraghi M, Maleki Farahani S, Rezazadeh A. Strip Intercropping With Chickpea Supports Production of a Valuable Medicinal Oilseed. *Legume Science*. 2025;7(4):e70051. DOI: 10.1002/leg3.70051.
11. Nadimi S, Moazzami Farida SH. Chitosan nanoparticles enhance salinity tolerance in *Lallelantia iberica* by modulating physiological and biochemical responses. *Plant Nano Biology*. 2026;15:100245. DOI: 10.1016/j.plana.2026.100245.
12. Zamani F., Amirnia R., Rezaei-Chiyaneh E. [et al.]. Optimizing essential oil, fatty acid profiles, and phenolic compounds of dragon's head (*Lallelantia iberica*) intercropped with chickpea (*Cicer Arietinum* L.) with biofertilizer inoculation under rainfed conditions in a semi-arid region. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2023;9(69):1687-1704. DOI: 10.1080/03650340.2022.2105320.
13. Paravar A., Maleki Farahani S., Rezazadeh A. Morphological, physiological and biochemical response of *Lallelantia* species to elevated temperature and light duration during seed development. *Heliyon*. 2023;4(9):E15149. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e15149.
14. Naservafaei S., Sohrabi Y., Moradi P. [et al.]. Salicylic Acid Concentration Effects on Drought Resistance and Physiological Traits in Dragon's Head (*Lallelantia iberica*). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2025;25:2387–2400. DOI: 10.1007/s42729-025-02273-7.
15. Suarez Y., Suarez A. *Lallelantia Ibérica*, una oleaginosa de interés agrícola y ganadero. *Anales de la Facultad de Veterinaria de Leon*. 2025;5:19-27. DOI: 10.18002/analesdeveterinaria.v5.8829.
16. Vafa Z. N., Sohrabi Y., Barasarathi Ja. [et al.]. Nano-silicon enhances drought tolerance, yield stability, and bio-active compounds in *Lallelantia iberica* under water deficit conditions. *Scientific Reports*. 2026;16(1):8127. DOI 10.1038/s41598-026-38869-x.
17. Yaseen A.F., Basra S.M.A., Yaseen A. Impact of sowing methods on morphological, yield and seed quality traits of *Salvia hispanica* accessions and *Lallelantia royleana*. *Intl. J. Agric Biol*. 2025;34:340507. DOI: 10.17957/IJAB/15.2392.

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

Прахова Татьяна Яковлевна, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией интродукции редких масличных культур, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Россия, prakhova.tanya@yandex.ru

Чернышова Наталия Геннадьевна, аспирант лаборатории интродукции редких масличных культур, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Россия

Author Information

Tatyana Ya. Prakhova, D.Sc. (Agriculture), Chief Researcher, Head of the Laboratory for the Introduction of Rare Oil Crops, FSBRI Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia prakhova.tanya@yandex.ru

Natalia G. Chernyshova, Postgraduate Student, Laboratory for the Introduction of Rare Oil Crops, FSBRI Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

Статья поступила в редакцию 18.08.2026; одобрена после рецензирования 10.09.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 18.08.2026; approved after reviewing 10.09.2026; accepted for publication 16.09.2026.





Вестник РГАТУ, 2026, Т.18, № 3, С.60-67
Vestnik RGATU, 2026, vol. 18, №3, pp 60-67

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 635.657:631.43:631.559
DOI 10.36508/RSATU.2026.97.90.008

АГРОФИЗИЧЕСКИЙ И ВОДНЫЙ РЕЖИМ В ПОСЕВАХ НУТА ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В ЛЕВОБЕРЕЖЬЕ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Анатолий Петрович Солодовников¹✉, Дмитрий Александрович Ванин¹, Анастасия Александровна Гераскина¹

¹ ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

✉ solodovnikov-sgau@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель – нахождение критических изменений таких показателей, как плотность и влажность почвы по основным этапам развития нута на фоне минимизации обработки почвы с целью обоснования корреляционных связей изучаемых факторов.

Методология. Опыты для проведения исследований осуществлялись в ИП К(Ф)Х Андрусенков А.Н. в Заволжье Саратовской области. Севооборот – пятипольный, сорт – Приво. Предшественник – озимая пшеница по черному пару. Общая площадь делянок по способам обработки почвы – 0,5 га, учетная площадь – 0,3 га; общая площадь по различным мерам борьбы с сорным компонентом – 0,12 га, учетная площадь – 0,1 га. Опыт двухфакторный, повторность четырехкратная. Количество делянок – 32. Расположение делянок по фактору А – систематическое, по фактору В – рандомизированное.

Результаты. Установлено, что в Заволжье безотвальный (минимальный) способ обработки поднимает плотность темно-каштановой почвы: перед посевом на 0,04 г/см³ (3,8 %); в фазы ветвления и бутонизации – 0,05 и 0,02 г/см³ соответственно, в период уборки – 0,02 г/см³. Корреляционная зависимость урожайности зерна нута от влажности почвы в фазу бутонизации показала, что оптимальная влажность почвы находится в пределах 15-17 % от массы. В 100-сантиметровом слое способы основной обработки почвы оказывают незначительное влияние на динамику влажности почвы, в то время как различные меры борьбы с сорным компонентом обеспечивают повышение анализируемого показателя в период ветвления нута на 0,54-0,63 % (73- 134 м³/га).

Заключение. На фоне минимизации основной обработки почвы внесение почвенного гербицида и гербицида по вегетации нута (1-3 листа), а также боронование посевов способствуют росту урожайности с 0,89 т/га до 1,03-1,11 т/га, что сравнимо с классической вспашкой без применения мер борьбы с сорным компонентом (1,06 т/га).

Ключевые слова: урожайность, нут, основная обработка, плотность почвы, влажность почвы

Для цитирования: Солодовников А.П., Ванин Д.А., Гераскина А.А. Агрофизический и водный режим в посевах нута при минимизации основной обработки почвы в левобережье Саратовской области // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С. 60-67 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.97.90.008](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.97.90.008)

Original article

**AGROPHYSICAL AND WATER REGIME IN CHICKPEA CROPS
WITH MINIMIZATION OF PRIMARY TILLAGE OF DARK CHESTNUT SOILS
IN THE SARATOV TRANS-VOLGA REGION**

Anatoly P. Solodovnikov¹✉, Dmitry A. Vanin¹, Anastasiya A. Geraskina¹

¹ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

✉ solodovnikov-sgau@yandex.ru

Abstract.

Problem and purpose. Determination of critical changes in such indicators as soil density and moisture

© Солодовников, А.П. Ванин Д.А., Гераскина А.А., 2026 г.



content at the main stages of chickpea development after soil cultivation minimization in order to substantiate the correlations between the factors studied.

Methodology. Crop rotation: five-field, variety: Privo. Predecessor: winter wheat on bare fallow. The total area of plots by tillage methods is 0.5 hectares, the accounting area is 0.3 hectares; the total area by various weed control measures is 0.12 hectares, the accounting area is 0.1 hectares. The experiment is two-factorial, replicated four times. The number of plots is 32. The arrangement of plots for factor A is systematic, for factor B - randomized.

Results. It was established that in the Trans-Volga region the no-till (minimum) tillage method increases the density of dark chestnut soil: before sowing by 0.04 g/cm^3 (3.8%); in the branching phase - 0.05 g/cm^3 ; in the budding phase and during the harvesting period 0.02 g/cm^3 . The curvilinear polynomial dependence of chickpea yield on soil moisture (% of mass) in the phenological phase of "budding" presented that the optimum soil moisture is within 15-17 % of the mass. In the 100-cm layer, the methods of primary tillage have an insignificant effect on the dynamics of soil moisture, while various measures to combat the weed component provide an increase in the analyzed indicator during the branching period of chickpea by 0.54 - 0.63% ($73 - 134 \text{ m}^3/\text{ha}$).

Conclusion. During the primary tillage minimization, the application of soil herbicide and herbicide during the growing season of chickpeas (1-3 leaves), as well as crop harrowing, contributes to an increase in yield from 0.89 to 1.03-1.11 t/ha, which is comparable to plowing without the application of weed control measures (1.06 t/ha).

Key words: yield, chickpea, primary tillage, density, soil moisture

For citation: Solodovnikov A.P., Vanin, D.A., Geraskin A.A. Agrophysical and water regime in chickpea crops with minimization of primary tillage of dark chestnut soils in the Saratov trans-volga region // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No.3, P.60-67 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.97.90.008>

Введение

Площади посева нута в Саратовской области постоянно увеличиваются, так, по официальной статистике в 2007 году данная культура занимала 19000 га или 26,5 % от посевной площади, занятой зернобобовыми культурами, а в 2023 году доля нута повышалась до 61,2 % при общей засеянной площади в 167274 га. Но при этом урожайность данной зернобобовой культуры составляла 1,2 т/га, что несколько меньше среднестатистических данных по РФ (1,46 т/га) [1, 2]. Для повышения урожайности зерна нута в засушливом Заволжье необходимо оптимизировать агрофизические показатели в обрабатываемом слое почвы, что позволит накопить дополнительные запасы влаги и создадутся условия для уменьшения непроизводительных потерь воды в период вегетации. Почвенная влага определяет всхожесть и глубину проникновения корневой системы данной зернобобовой культуры, т.к. для начального прорастания требуется до 160 % воды от массы семян, а накопление влагозапасов в нижних околометровых горизонтах позволяет гарантировать налив зерна. Из чего следует, что общий запас влаги и распределение данных запасов по горизонтам почвы является основоопределяющим компонентом стабилизации урожайности в засушливых степных районах Поволжья [3-10, 15].

Материалы и методы исследований.

Для изучения динамики таких показателей, как плотность и влажность почвы по определяющим стадиям развития нута (перед посевом, в фазы ветвления и бутонизации, перед уборкой) при минимизации основной обработки почвы с целью обоснования корреляционной связи изучаемых агротехнических мероприятий был заложен двухфакторный опыт по следующей схеме.

Фактор А – основная обработка:

А1 – Отвальная обработка ПЛН-8-35

на 25-27 см (контроль 1);

А2 – Минимальная обработка КПШ-6 на 12-14 см.

Фактор В – способы уничтожения сорного компонента в посевах:

В1 – Без мер борьбы (контроль 2);

В2 – Боронование по всходам в фазу 3-5 листьев;

В3 – Гербицид почвенного действия на основе прометрина (500 г/л) (Бриг – 2,0 л/га);

В4 – Гербицид листового действия на основе хизалофоп-П-этил + имазамокс (50 + 38 г/л) (Гермес – 0,9 л/га).

Опыты для проведения исследований осуществлялись в ИП К(Ф)Х Андрусенков А.Н. в Заволжье Саратовской области на темно-каштановой почве со следующими характеристиками: содержание гумуса – 2,8-3,8 %, НВ – 23,73 %, ВУЗ – 9,8 %, плотность – $1,35 \text{ г/см}^3$ для метрового слоя. ГТК май-август по годам исследований составил: 2023 г. – 0,64; 2024 г. – 0,21; 2025 г. – 0,23. Сорт нута Приво 1 (800 тыс. шт. всх. семян на 1 гектар) возделывался в пятипольном севообороте. Предшественник – озимая пшеница по черному пару. Общая площадь делянок по способам обработки почвы – 0,5 га, учетная площадь – 0,3 га; общая площадь по различным мерам борьбы с сорным компонентом – 0,12 га, учетная площадь – 0,1 га. Исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками и методическими указаниями [11].

Результаты исследований и их обсуждение

Каждая культура реализует свой биологический потенциал при определенных условиях, поэтому агрономическая деятельность с помощью агротехнических приемов может создать лучшие параметры с целью повышения урожайности [12].

Одним из таких агротехнических приемов является основная обработка почвы, которая формирует агрофизические показатели (табл. 1).



Согласно таблице 1, минимизация обработки почвы повышала плотность почвы: перед посевом на 0,04 г/см³ (3,8 %); в ветвление – 0,05 г/см³ (4,4 %); в фазу бутонизации и в период уборки

– 0,02 г/см³ (1,7 %). Но данное уплотнение не имело критических последствий и не выходило за допустимые пределы (1,10-1,20 г/см³) оптимума для данной культуры [13].

Таблица 1 – Динамика плотности почвы (0-40 см) по определяющим стадиям развития нута, г/см³

Способ обработки почвы	Период отбора образцов в соответствии с фазой развития			
	перед посевом	ветвление	бутонизация	уборка
2023 вегетационный год				
Отвальная (25-27 см)	1,09	1,19	1,22	1,25
Минимальная (12-14 см)	1,14	1,26	1,27	1,29
2024 вегетационный год				
Отвальная (25-27 см)	1,03	1,08	1,15	1,18
Минимальная (12-14 см)	1,07	1,13	1,17	1,20
2025 вегетационный год				
Отвальная (25-27 см)	1,07	1,10	1,16	1,15
Минимальная (12-14 см)	1,10	1,14	1,15	1,16
в среднем за 2023-2025 гг.				
Отвальная (25-27 см)	1,06	1,13	1,18	1,19
Минимальная (12-14 см)	1,10	1,18	1,20	1,21

Корреляционная обработка данных, полученных в полевых условиях, позволяет зафиксировать значимую (среднюю) неотрицательную зависимость динамически изменяющейся плотности

от влажности почвы (% от массы) в период вегетации нута с коэффициентом детерминации 0,411 ($r = -0,641$) (рис. 1).

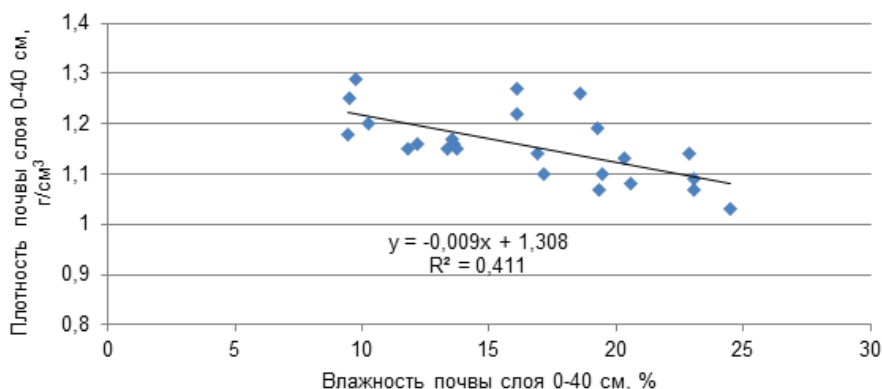


Рис. 1 – Корреляционная связь влажности (% от массы) с плотностью почвы в слое 0-40 см
Fig. 1 – Correlation between moisture content (% of mass) and soil density in the 0-40 cm layer

Проведенные расчеты по определению критерия Стьюдента позволяют однозначно отметить, что $t_f = 3,89$ больше $t_t = 2,06$, из чего следует, что тест на линейность уравнения выполнен. Из рисунка 1 следует, что на темно-каштановой почве в Заволжских степях увеличение влажности почвы на каждые 10 % способствует снижению ее плотности на 0,08 г/см³.

Анализ полученных в ходе исследований результатов по изучению динамики влажности почвы свидетельствует, что после весеннего снеготаяния снега (в момент посева нута) в верхнем (0-40 см) слое максимальные запасы влаги формировались в течение двух лет (2023 и 2024 гг.). На третий год учета влажности различия по основной обработке были незначительными. Учет влажности почвы на глубину проникновения корней нута (0-100 см) позволяет сделать несколько иное заключение – безотвальная обработка с сохранением стерни озимой пшеницы способствовала большему нако-

плению влаги за два года из трех (2023 и 2025 гг.).

В период проведения уборочных работ во все годы исследований разница по вариантам была не достоверной ($F_f < F_t$) и числовые значения влажности от массы приближались к величине ВУЗ – (9,8 %).

Усредненные значения по трехлетним данным позволяют сделать заключение, что влажность 100 сантиметрового слоя определяется запасами снега и весенними осадками и в значительно меньшей степени зависит от способа обработки почвы. При посеве и в фазу ветвления различия по фактору А составляли 0,12 %, в фазу бутонизации значительно меньше – 0,02 %, достигая максимальных значений после уборки – 0,18 %.

При отвальной обработке почвы в верхнем (0-40 см) слое почвы отмечали более значимую разницу по влажности почвы до фазы бутонизации (+0,44 %; +0,29 %) (табл. 2).



Таблица 2 – Послойная (0-40; 0-100 см) влажность почвы по стадиям развития нута, среднее за 2023-2025 гг., % от массы

Варианты опыта, годы		Слой изучаемой почвы, см	Период отбора образцов в соответствии с фазой развития			
A	B		перед посевом	ветвление	бутонизация	после уборки
A ₁ (к 1)	B ₁ (к 2)	0-40	22,29	19,00	14,34	10,24
		0-100	20,40	18,42	14,99	10,63
	B ₂	0-40	22,15	20,01	14,54	10,30
		0-100	20,38	18,90	15,13	10,70
	B ₃	0-40	22,29	20,00	15,04	10,36
		0-100	20,40	18,92	15,36	10,75
	B ₄	0-40	22,14	20,14	15,13	10,49
		0-100	20,32	18,96	15,44	10,87
Ср. по фактору A ₁		0-40	22,22	19,79	14,76	10,35
Ср. по фактору A ₁		0-100	20,37	18,80	15,23	10,74
A ₂	B ₁ (к 2)	0-40	21,80	18,61	14,56	10,71
		0-100	20,51	18,17	14,92	10,74
	B ₂	0-40	21,85	19,71	14,60	11,03
		0-100	20,50	18,76	15,14	10,95
	B ₃	0-40	21,75	19,84	14,73	11,02
		0-100	20,45	18,88	15,35	10,93
	B ₄	0-40	21,75	19,84	14,88	11,17
		0-100	20,50	18,92	15,44	11,08
Ср. по фактору A ₂		0-40	21,78	19,50	14,69	10,98
Ср. по фактору A ₂		0-100	20,49	18,68	15,21	10,92
Ср. по фактору B ₁		0-40	22,04	18,80	14,45	10,47
Ср. по фактору B ₁		0-100	20,45	18,29	14,95	10,68
Ср. по фактору B ₂		0-40	22,00	19,86	14,57	10,66
Ср. по фактору B ₂		0-100	20,44	18,83	15,13	10,82
Ср. по фактору B ₃		0-40	22,02	19,92	14,88	10,69
Ср. по фактору B ₃		0-100	20,42	18,90	15,35	10,84
Ср. по фактору B ₄		0-40	21,95	19,99	15,00	10,83
Ср. по фактору B ₄		0-100	20,41	18,94	15,44	10,97

В ходе исследований по различным способам уничтожения сорного компонента выявлено, что максимальная разница по влажности почвенного горизонта получена при достижении растениями нута фазы ветвления, по боронованию – 0,54 % (73 м³/га), в среднем по химическим мерам борьбы – 0,63 % (134 м³/га). К моменту бутонизации нута преимущество агротехнических мер борьбы относительно контрольного варианта составило 0,18 %, химических мер борьбы – 0,44 %.

Корреляционная связь влажности почвы (0-100 см) с урожайностью зерна нута показала среднюю степень зависимости в момент посева ($R_2 = 0,163$; $r = 0,404$)($t_{\phi} = 2,07$; $t_r = 2,06$) и в фазу ветвления ($R_2 = 0,252$; $r = 0,502$)($t_{\phi} = 2,71$; $t_r = 2,06$). Графические отражения данных зависимостей показаны на рисунках 2 и 3.

Получена криволинейная зависимость урожайности от влажности в фазу бутонизации, с максимальной урожайностью при влажности 15-17 % (рис. 4). При выпадении морозящих дождей возможно развитие фитопатогенов и частичное осыпание бутонов, при малой влажности почвы в период формирования бобов отмечается уменьшение их количества и массы [14].

Периодические небольшие осадки в 2023 году (ГТК = 0,64) не способствовали интенсивному росту корней в глубину, морозящие дожди приводили к некоторому распространению болезней и осыпанию бутонов у нута. Средняя урожайность за три года исследований при безотвальной обработке почвы составила 1,02 т/га, что ниже чем при вспашке на 0,18 т/га (15,0 %) (табл. 3).

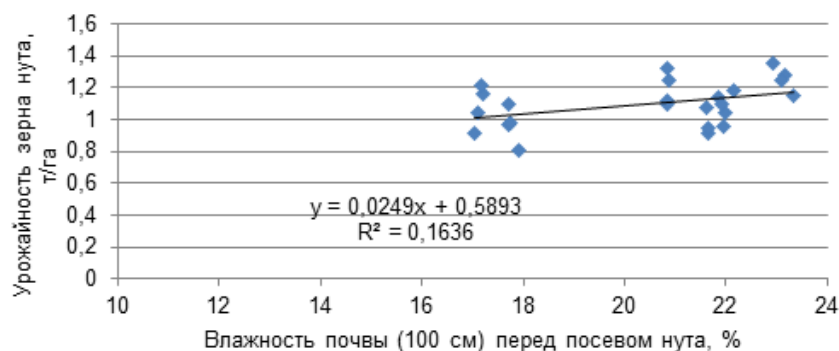


Рис. 2 – Корреляционная связь урожайности зерна нута от влажности почвы, % от массы (100 см) перед посевом

Fig. 2 – Correlation between chickpea grain yield and soil moisture, % of mass (100 cm) before sowing

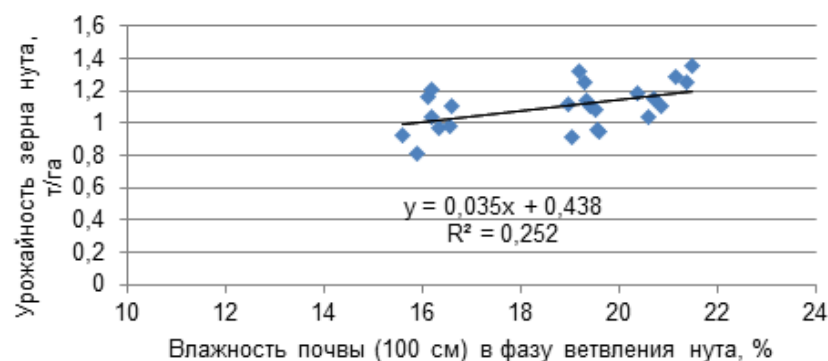


Рис. 3 – Корреляционная связь урожайности зерна нута от влажности почвы, % от массы (100 см) в фазу ветвления

Fig. 3 – Correlation between chickpea grain yield and soil moisture, % of mass (100 cm) in the branching phase

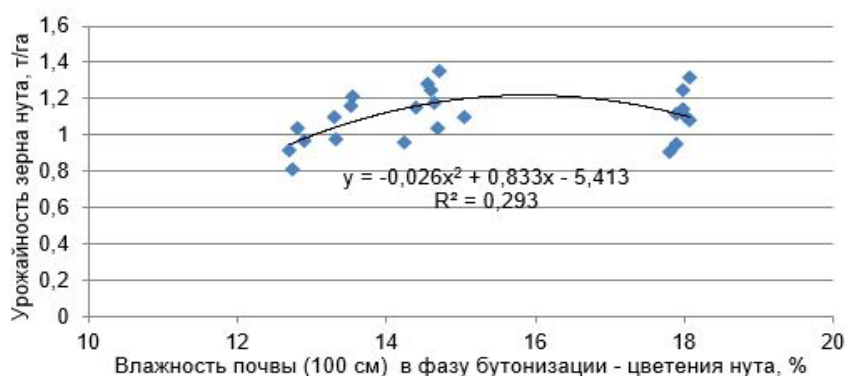


Рис. 4 – Полиномиальная зависимость урожайности зерна нута от влажности почвы, % от массы (100 см) в фазу бутонизации

Fig. 4 – Polynomial dependence of chickpea grain yield on soil moisture, % of mass (100 cm) in the budding phase

Таблица 3 – Особенности формирования урожайности нута (сорт Приво 1) при минимизации обработки почвы и используемых мерах борьбы с сорным компонентом, т/га

Варианты опыта		Урожайность			
A	B	2023 г.	2024 г.	2025 г.	средняя
A ₁ (контроль 1)	B1(контроль 2)	1,12	1,15	0,92	1,06
	B ₂	1,10	1,28	1,04	1,14
	B ₃	1,25	1,25	1,16	1,22
	B ₄	1,32	1,35	1,21	1,29
Средняя урожайность A ₁		1,20	1,26	1,08	1,18
A ₂	B1(контроль 2)	0,91	0,96	0,81	0,89
	B ₂	0,95	1,18	0,97	1,03
	B ₃	1,08	1,04	0,98	1,03
	B ₄	1,14	1,10	1,10	1,11
Ср. урожайность A ₂		1,02 (-0,18; 15,0 %)	1,07 (-0,19; 15,1 %)	0,96 (-0,12; 11,1 %)	1,01 (-0,17; 14,4 %)
(отклонение от контроля)		B ₁ – 0,97	B ₂ – 1,08 (+0,11; 11,3 %)	B ₃ – 1,12 (+0,15; 15,5 %)	B ₄ – 1,20 (+0,23; 23,7 %)
НСР ₀₅ частных средних		0,139	0,196	0,198	0,101



Продолжение таблицы 3

НСП ₀₅ А	0,035	0,049	0,049	0,025
НСП ₀₅ В	0,049	0,069	0,070	0,036
НСП ₀₅ АВ	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт

Максимальное весеннее увлажнение почвы (близкое к НВ) в 2024 году содействовало получению урожайности 1,26 т/га на варианте с оборотом пласта (ПЛН-8-35) и 1,07 т/га на участках без оборота пласта (КПШ-6).

Уменьшение запасов влаги в почве и количества осадков за вегетацию 2025 года не способствовали созданию хорошего урожая нута. Так, средняя урожайность зерна нута по фактору А₂ была равна всего 0,96 т/га.

Агрофизические свойства, влажность почвы, погодные условия, сорные растения устанавливали среднемноголетнюю урожайность нута. Сравнивая урожайность, полученную на делянках с учетом фактора В, можно однозначно констатировать, что применение боронования посевов или почвенного гербицида на минимальной обработке приводит к росту урожайности до 1,03 т/га, т.е. практически до уровня вспашки (1,06 т/га), а уничтожение сорных растений в ранние фазы развития нута гербицидом листового действия даже превосходит вспашку (1,11 т/га).

По способам уничтожения сорного компонента в посевах нута можно отметить, что все изучаемые меры борьбы (агротехнические и химические) способствовали значимому (НСП₀₅ В = 0,036) повышению урожайности; так, боронование по всходам превышало контрольные показатели на 0,11 т/га (11,3 %), использование гербицидов – на 0,15-0,23 т/га (15,5-23,7 %). В процессе учета урожайных данных не зафиксировано взаимодействие факторов А и В (Fф<Fт).

Заключение

В Заволжье безотвальный (минимальный) способ обработки поднимает плотность темно-каштановой почвы: перед посевом на 0,04 г/см³ (3,8 %); в фазу ветвления – на 0,05 г/см³; в фазу бутонизации и в период уборки на 0,02 г/см³.

В 100-сантиметровом слое способы основной обработки почвы оказывают незначительное влияние на динамику такого показателя, как влажность почвы. В то же время различные меры борьбы с сорным компонентом, проведенные в ходе исследования, обеспечили повышение анализируемого показателя в период ветвления нута на 0,54-0,63 % (73-134 мг/га) в 100-сантиметровом слое почвы.

На фоне минимизации основной обработки почвы внесение почвенного гербицида и гербицида по вегетации нута (1-3 листа), а также боронование посевов способствуют росту урожайности с 0,89 т/га до 1,03-1,11 т/га, что сравнимо с классической вспашкой без применения мер борьбы с сорным компонентом (1,06 т/га).

Список источников

1. Посевные площади, валовой сбор, урожайность сельскохозяйственных культур в Са-

ратовской области: Статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области. Саратов, 2009. - 166 с.

2. Посевные площади, валовой сбор, урожайность сельскохозяйственных культур в Саратовской области: Статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области. Саратов, 2023. - 159 с.

3. Виноградов Д. В., Евсенина М. В., Лупова Е. И. Урожайность сортов нута при применении агрохимиката в условиях Юга Нечерноземья. *Нива Поволжья*. 2025;4(76): DOI 10.36461/NP.2025.76.4.016.

4. Горянин О.И., Трутнева Д.Ю., Джангабаев Б.Ж., Щербинина Е.В. Влияние элементов технологии на урожайность и эффективность возделывания гороха в засушливых условиях Поволжья. *Земледелие*. 2025;2:7-11.

5. Солодовников А. П., Уполовников Д. А., Гусакова Н. Н. [и др.]. Водопроницаемость темно-каштановой почвы и агрохимические факторы, определяющие урожайность нута. *Аграрный научный журнал*. 2023;11:130-135. DOI 10.28983/asj.y2023i11pp130-135.

6. Закшевский В. Г., Полунина Н. Ю. Декомпозиция экспорта нута из России. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2025;5(123):153-161. DOI 10.33938/255-153.

7. Нурлыгаянов Р. Б., Исламгулов Д. Р., Гиниятова Ф. Ф., Зайнагабдинов А. Ф. Зернобобовые культуры в Республике Башкортостан. *Аграрная наука*. 2021;10:64-69. DOI 10.32634/0869-8155-2021-353-10-64-69.

8. Коленов А. В., Гринько А. В., Полиенко Е. А. Влияние гербицидов на урожайность и качество нута в условиях Ростовской области. *Земледелие*. 2026;4:32-38. DOI 10.24412/0044-3913-2026-4-32-38.

9. Солодовников А. П., Денисов К.Е., Нейфельд В.В. Агрофизические свойства, влажность почвы и погодные условия как факторы, определяющие урожайность зерна нута в Заволжье. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2024;16(3):70-77. DOI 10.36508/RSATU.2024.40.15.010.

10. Ткаченко Я.В., Зеленев А.В., Пакина Е.Н., Ляшенко М.У. Эффективность комбинированного применения способов основной обработки почвы и регуляторов роста с целью повышения урожайности нута в условиях Нижнего Поволжья. *Аграрный научный журнал*. 2026;5:79–87. DOI 10.28983/asj.y2026i5pp79-87.

11. Использование средств биологизации в повышении продуктивности и экологической



устойчивости агроландшафтов / И.В. Фетюхин, А.П. Авдеенко, С.С. Авдеенко, Н.А. Рябцева. Персиановский: Донской государственный аграрный университет, 2024. – 219 с.

12. Органическое земледелие Воронежской области (полевые культуры) / А.В. Дедов, М.А. Несмеянова, А.В. Горбачева, А.А. Дедов. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. – 458 с.

13. Евсенина М.В., Виноградов Д.В. Оценка эффективности фунгицидов в агроценозах сои в условиях юга Нечерноземья. *Аграрный научный журнал*. 2026;6:28-35. DOI 10.28983/asj.y2026i6pp28-35.

14. Сазонова И. А., Бычкова В. В., Ерохина А. В. [и др.]. Потенциал зернобобовых культур как высокобелкового компонента в кормопроизводстве. *Аграрный научный журнал*. 2024;8:103-107. DOI 10.28983/asj.y2024i8pp103-107.

15. Евсенина М.В., Виноградов Д. В., Лупова Е. И. Урожайность сортов гороха при использовании инокулянта в условиях юга Нечерноземья. *Молочнохозяйственный вестник*. 2023;4(52):54-66. DOI 10.52231/2225-4269_2023_4_54.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Sown areas, gross harvest, and crop yields in the Saratov region: Statistical digest / Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Saratov region (Posevnye ploshchadi, valovoy sbor, urozhajnost' sel'skokhozyajstvennykh kul'tur v Saratovskoj oblasti: Statisticheskij sbornik / Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Saratovskoj oblasti). Saratov, 2009. 166 p.

2. Sown areas, gross harvest, and crop yields in the Saratov region: Statistical digest / Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Saratov region (Posevnye ploshchadi, valovoy sbor, urozhajnost' sel'skokhozyajstvennykh kul'tur v Saratovskoj oblasti: Statisticheskij sbornik / Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Saratovskoj oblasti). Saratov, 2023. 159 p.

3. Vinogradov D.V., Evsenina M.V., Lupova E.I. Yields of chickpea varieties with agrochemical application in the Southern Non-Chernozem region. *Niva Povolzh'ia*. 2025;4(76). (In Russ.). DOI 10.36461/NP.2025.76.4.016.

4. Goryanin O.I., Trutneva D.Y., Dzhanaev B.J., Shcherbinina E.V. The influence of technology elements on the yield and efficiency of pea cultivation under arid conditions of the Volga region. *Zemledelie*. 2025;2:7-11. (In Russ.).

5. Solodovnikov A. P., Upolovnikov D. A., Gusakova N. N. [et al.]. Water permeability of dark chestnut soil and agrochemical factors determining chickpea yield. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;(11):130–135. (In Russ.). DOI 10.28983/asj.y2023i11pp130-135.

6. Zakshevskii V.G., Polunina N.YU. Decomposition of chickpea exports from Russia. *Economy, labor, management in agriculture*. 2025;5(123):153-161. (In Russ.). DOI 10.33938/255-153.

7. Nurlygayanov R.B., Islamgulov D.R., Giniyatova F.F., Zainagabdinov A.F. Leguminous crops in the Republic of Bashkortostan. *Agrarian Science*. 2021;10:64-69. (In Russ.). DOI 10.32634/0869-8155-2021-353-10-64-69.

8. Kolenov A.V., Grin'ko A.V., Polienko E.A. The influence of herbicides on the yield and quality of chickpeas in the Rostov region. *Zemledelie*. 2026;4:32-38. (In Russ.). DOI 10.24412/0044-3913-2026-4-32-38.

9. Solodovnikov A.P., Denisov K.E., Neufeld V.V. Agrophysical properties, soil moisture and weather conditions as factors determining the yield of chickpea grain in the Trans- Volga region. *Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2024;16(3):70-77. (In Russ.). DOI 10.36508/RSATU.2024.40.15.010.

10. Tkachenko Ya. V., Zelenev A. V., Pakina E. N., Lyashko M. U. Effectiveness of integrated application of primary soil tillage methods and growth regulators for enhancing chickpea yield in the Lower Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2026;5:79–87. (In Russ.). DOI 10.28983/asj.y2026i5pp79-87.

11. Fetyukhin I.V., Avdeenko A.P., Avdeenko S.S., Ryabtseva N.A. Use of biologization means in improving the productivity and environmental sustainability of agricultural landscapes (Ispol'zovanie sredstv biologizatsii v povyshenii produktivnosti i ekologicheskoy ustojchivosti agrolandshaftov). Persiansky: Don State Agrarian University, 2024. 219 p.

12. Dedov A.V., Nesmeyanova M.A., Gorbacheva A.V., Dedov A.A. Organic farming of the Voronezh Region (field crops) (Organicheskoe zemledelie Voronezhskoj oblasti (polevye kul'tury)). Voronezh: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Voronezh State Agrarian University, 2021. 458 p.

13. Evsenina M.V., Vinogradov D.V. Assessment of the effectiveness of fungicides in soybean agroecosystems in the conditions of the south of the Non-Black Earth Region. *Agrarian Scientific Journal*. 2026;6:28-35. (In Russ.). DOI 10.28983/asj.y2026i6pp28-35.

14. Sazonova I. A., Bychkova V. V., Erokhina A. V., [et al.]. The potential of leguminous crops as a high-protein component in feed production. *Agrarian Scientific Journal*. 2024;(8):103–107. (In Russ.). DOI 10.28983/asj.y2024i8pp103-107.

15. Evsenina M.V., Vinogradov D.V., Lupova E.I. The yield of pea varieties when using an inoculants. *Dairy Bulletin*. 2023;4(52):54-66. (In Russ.). DOI 10.52231/2225-4269_2023_4_54.

**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

Солодовников Анатолий Петрович, д-р с.-х. наук, профессор кафедры «Земледелие, мелиорация и агрохимия», ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия, solodovnikov-sgau@yandex.ru

Ванин Дмитрий Александрович, аспирант кафедры «Земледелие, мелиорация и агрохимия», ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия, mr.vanin64@yandex.ru

Гераскина Анастасия Александровна, канд. с.-х. наук, ассистент кафедры «Земледелие, мелиорация и агрохимия», ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия, geraskina.a@rambler.ru

Author information

Anatoly P. Solodovnikov, D.Sc. (Agriculture), Professor of the Department of Agriculture, Land Reclamation and Agrochemistry, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia, solodovnikov-sgau@yandex.ru

Dmitry A. Vanin, Postgraduate Student of the Department of Agriculture, Land Reclamation, and Agrochemistry, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia, mr.vanin64@yandex.ru

Anastasia A. Geraskina, Cand.Sc. (Agriculture), Assistant of the Department of Agriculture, Land Reclamation and Agrochemistry, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia, geraskina.a@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 16.07.2026; одобрена после рецензирования 11.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 16.07.2026; approved after reviewing 11.08.2026; accepted for publication 16.09.2026.





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.42:634.721(571.56)
DOI 10.36508/RSATU.2026.82.95.009

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ
В АГРОТЕХНИКЕ ДИКОРАСТУЩЕЙ ЧЁРНОЙ СМОРОДИНЫ (RIBES NIGRUM L.)**

Мария Ильинична Черкашина¹✉, Раиль Рафикович Алимгафаров², Булат Гилимханович Ахияров², Анна Георгиевна Черкашина¹

¹ ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», г. Якутск, Россия

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

✉ 1703210@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В работе изучены физиологические особенности водного режима дикорастущей чёрной смородины (*Ribes nigrum* L.) в условиях Якутии и обоснованы агротехнические приёмы, позволяющие учитывать эти особенности при введении диких форм в культуру. Актуальность обусловлена снижением урожайности и повышением уязвимости смородины при переносе из естественных местообитаний на открытые окультуренные участки, что связано с игнорированием её влаголюбия и специфики устьичного аппарата.

Методология. Объектами исследования служили 19 видов, форм и сортов чёрной смородины, включая местные дикорастущие (охта, малоцветковая) и нерайонированные формы, проходящие предварительное испытание в Покровском опытном хозяйстве Якутской НИИСХ. В качестве контроля использовали сопутствующие древесно кустарниковые виды: яблоню Сибирку, черёмуху азиатскую, шиповник иглистый, боярышник Максимовича, берёзу плосколистную, малину сахалинскую. Из основных показателей влагообеспеченности определяли: влажность листьев (термостатно весовым методом); дефицит насыщения листьев водой (в %); интенсивность транспирации (методом быстрого взвешивания по Иванову Л.А. и др.), водоудерживающую способность листьев и побегов (по Еремееву Г.Н.), поверхностную массу свежих и сухих листьев (мг/см²) по Ничипоровичу А.А.

Результаты. Дикорастущая чёрная смородина в условиях Якутии характеризуется высокой оводнёностью листьев (71-79 %), относительно низкой поверхностной массой листьев и умеренной плотностью устьиц. По совокупности показателей её можно отнести к мезофитам с повышенной требовательностью к влагообеспечению. Между 19 исследованными формами смородины выявлены статистически значимые различия по показателям водного режима, что обосновывает необходимость дифференцированного подхода к их использованию в культуре. Местные дикорастущие формы (охта, малоцветковая) менее приспособлены к выращиванию на открытых участках с дефицитом влаги по сравнению с инорайонными формами, о чём свидетельствуют более высокий дефицит насыщения и меньшая водоудерживающая способность. На основе физиологических особенностей предложены элементы агротехники (выбор участка, мульчирование, сроки посадки, подбор форм, защита от ветра), позволяющие минимизировать водный стресс и повысить приживаемость и продуктивность смородины при введении её в культуру.

Заключение. На основании физиологических показателей предложены элементы агротехники для дикорастущей смородины в условиях Якутии: размещение на участках с повышенной влагообеспеченностью, мульчирование для снижения испарения, выбор сроков посадки с учётом температурного режима почвы, а также подбор форм с более высокой водоудерживающей способностью для дальнейшей селекции.

Ключевые слова: чёрная смородина, водный режим, физиология растений, устьичный аппарат, агротехника, Якутия

Для цитирования: Черкашина М.И., Алимгафаров Р.Р., Ахияров Б.Г., Черкашина А.Г. Физиологические процессы и их реализация в агротехнике дикорастущей черной смородины (*Ribes Nigrum* L.) // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т. 18, № 3, С. 68-74 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.82.95.009>

PHYSIOLOGICAL PROCESSES AND THEIR IMPLEMENTATION IN AGROTECHNICS OF WILD BLACK CURRANT (*RIBES NIGRUM* L.)Maria I. Cherkashina¹✉, Rail R. Alimgafarov², Bulat G. Akhiyarov², Anna G. Cherkashina¹¹ Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia² Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

✉ 703210@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. The paper examines the physiological features of the water regime of wild-growing black currant (*Ribes nigrum* L.) in Yakutia and substantiates agrotechnical techniques that allow these features to be taken into account when introducing wild forms into culture. The relevance is due to a decrease in yield and an increase in the vulnerability of currants when transferred from natural habitats to open cultivated areas, which is associated with ignoring its moisture content and the specifics of the stomatal apparatus.

Methodology. The research was conducted in the Pokrovsky experimental farm of the Yakut Research Institute of Agricultural Sciences. Leaf moisture, saturation deficiency, transpiration intensity, water retention capacity of leaves and shoots, as well as morphological parameters of the stomatal apparatus (number of stomata per m² of leaf surface, stomatal index) were determined. The transpiration rate was normalized by the area and weight of fresh/dry leaves. To estimate the rate of water consumption, the percentage of the amount of water poured to the amount consumed per unit of time was calculated. Consideration of external factors included temperature, air and soil humidity, total, direct and scattered solar radiation, and albedo. Statistical data processing was performed using the Student's t-test ($p < 0.05$) and univariate analysis of variance (ANOVA) to compare 19 species, forms and varieties of currants with each other and with related tree and shrub species.

Results. According to statistical analysis, black currant is characterized by a high level of leaf water content (71-79%), a low surface mass of fresh leaves (22.72 mg/cm²) and a relatively low stomatal density (on average, ~378-600 stomata/m²) with a moderate stomatal index. In comparison with Siberian apple, Asian cherry and Maximovich's hawthorn, currant demonstrates a lower water retention capacity and a lower saturation deficit (19.8% versus 29.1% for apple trees), which confirms its increased demand for moisture supply. Significant differences have been revealed between wild-growing species (ochta, malotsvetkovaya) and non-district forms: the former have a higher saturation deficit and a lower water retention capacity, which indicates a lower adaptability to open areas with a lack of moisture.

Conclusion. Based on physiological parameters, elements of agricultural technology for wild currants in Yakutia are proposed: placement in areas with increased moisture availability, mulching to reduce evaporation, selection of planting dates taking into account the temperature regime of the soil, as well as the selection of forms with a higher water retention capacity for further breeding.

Key words: black currant, water regime, plant physiology, stomatal apparatus, agrotechnics, Yakutia

For citation: Cherkashina M.I., Alimgafarov R.R., Akhiyarov B.G., Cherkashina A.G. Physiological processes and their implementation in agrotechnics of wild black currant (*Ribes Nigrum* L.) // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No.3, P. 68-74 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.82.95.009>

Введение

В Якутии представленная в большом разнообразии форм дикая черная смородина заслуживает особого внимания в том отношении, что крупноплодные сорта могут быть испытаны для непосредственного введения в культуру, а также использованы в качестве исходного материала для выведения местных культурных сортов, которых не так много [1-4,16]. Рациональное хозяйственное использование дикорастущей смородины как ценного ягодного кустарника, организация охраны и ухода за ее естественными насаждениями, воспроизводство их, закладка культурных смородинных плантаций – вот далеко не полный перечень проблем, неотложное решение которых не представляется возможным без всестороннего познания и выяснения биологических особенностей поведения смородины в своеобразных и

во многом уникальных почвенно-климатических условиях Республики Саха (Якутия) [5,6,7,14,15]. В частности, при непосредственном переносе кустов смородины из тайги на открытые окультуренные участки наблюдается некоторое снижение урожая ягод, усиливается их осыпаемость и повышается восприимчивость к болезням и вредителям [8,9,19,20]. Результаты наших предварительных исследований дают основание предполагать, что одной из возможных причин таких нежелательных отклонений является то, что не учитывается исторически сложившаяся у смородины приуроченность к влажным местам обитания с холодными почвами. В случае непосредственного переноса кустов диких форм смородины в культуру для них на новом месте произрастания складывается зачастую слишком необычная обстановка и прежде всего, как нам представляется, в отношении во-

дного и температурного факторов [10,17,18].

Целью исследований является отношение дикорастущих видов черной смородины к водному режиму. В связи с этим поставлена задача – выяснить отношение смородины к условиям водного режима.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования служили 19 видов, форм и сортов чёрной смородины, включая местные дикорастущие (охта, малоцветковая) и нерайонированные формы, проходящие предварительное испытание в Покровском опытном хозяйстве Якутской НИИСХ. В качестве контроля использовали сопутствующие древесно кустарниковые виды: яблоню Сибирку, черёмуху азиатскую, шиповник иглистый, боярышник Максимовича, берёзу плосколистную, малину сахалинскую. Из основных показателей влагообеспеченности определяли: влажность листьев (термостатно весовым методом); дефицит насыщения листьев водой (в %); интенсивность транспирации (методом быстрого взвешивания по Иванову Л.А. и др.) [13]; водоудерживающую способность листьев и побегов (по Еремееву Г.Н.) [12]; поверхностную массу свежих и сухих листьев (мг/см^2) по Ничипоровичу А.А. [11].

Интенсивность транспирации выражали в $\text{мг H}_2\text{O}$ на грамм сырого вещества в час, нормируя по площади и массе листьев. Быстроту расходования воды определяли как процентное отношение объёма налитой воды к объёму, израсходованному за единицу времени.

Для характеристики устьичного аппарата подсчитывали число устьиц на 1 м^2 листовой поверхности и рассчитывали устьичный индекс (отношение числа устьиц к общему числу клеток эпидермиса). Измерения проводили в трёх повторностях для каждого вида/формы ($n = 3$), с последующим расчётом среднего и стандартной ошибки (SE).

Статистическую обработку результатов выполняли в программе Statistica 10.0. Достоверность различий между группами оценивали с помощью t критерия Стьюдента и однофакторного ANOVA ($p \leq 0,05$). Для множественных сравнений применяли критерий Тьюки (HSD).

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам дисперсионного анализа уровень оводнённости листьев у 19 изученных форм чёрной смородины статистически значимо отличался ($F = 12,3$; $p < 0,001$). В середине лета влажность листьев варьировала от 71 до 79 %, при этом местные дикорастущие формы (охта, малоцветковая) имели тенденцию к более высоким

значениям (76-79 %) по сравнению с инорайонными (71-75 %). У сопутствующих древесно-кустарниковых видов влажность листьев была на 8-12 % ниже (61-69 %), что позволяет отнести смородину к мезофитам.

Поверхностная масса свежих листьев у смородины в среднем составила $22,72 \pm 1,1 \text{ мг/см}^2$, сухих – $5,78 \pm 0,4 \text{ мг/см}^2$. Для сравнения: у яблони Сибирки – $25,90 \pm 1,3$ и $10,07 \pm 0,6 \text{ мг/см}^2$ соответственно, у черёмухи азиатской – $29,30 \pm 1,5$ и $11,11 \pm 0,7 \text{ мг/см}^2$. Более низкая поверхностная масса листьев смородины согласуется с её мезофитной стратегией и повышенной потребностью в воде (рис. 1).

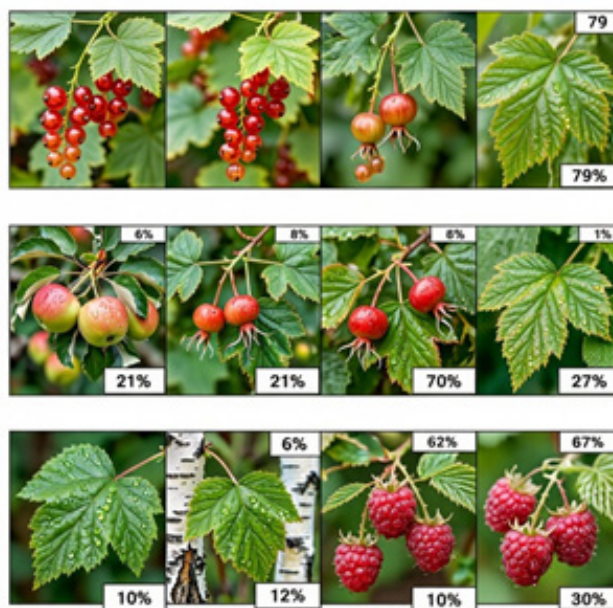


Рис. 1 – Сравнение водного режима листьев
Fig. 1 – Comparison of leaf water regime

Согласно таблице 1, число устьиц и устьичный индекс смородины варьировал по видам и формам: при сравнении «Смородина пахучая» и «Смородина малоцветковая» плотность устьиц показала разницу в $142/\text{м}^2$ (4,8 %). У других плодово-ягодных культур данный показатель был выше: у яблони «Сибирская» – $600/\text{м}^2$ (20 %), у черёмухи «Азиатской» – $971/\text{м}^2$ (21,1 %), у боярышника «Максимовича» – $450/\text{м}^2$ (23,1 %); в свою очередь, хотелось бы отметить, что берёза плосколистная отличалась низкой плотностью – $140/\text{м}^2$ (10,3 %). Минимальное количество дефицита насыщения листьев отмечено у смородины – 19,8 % и максимальная у яблони «Сибирская» – 29,1 %.

Таблица 1 – Сравнительный анализ различных плодово-ягодных культур

Культура	Уровень оводнённости листьев (%)	Поверхностная масса листьев (мг/см^2), свежие/сухие	Число устьиц на 1 м^2	Устьичный индекс (%)	Дефицит насыщения (%)
Смородина	71...79	22,72/5,78	варьирует по формам	варьирует по формам	19,8



Продолжение таблицы 1

Смородина малоцветковая	~78	~23,0/~5,8	378	9,5	~20,0
Смородина пахучая	~75	~22,5/~5,6	520	14,2	~21,5
Яблоня сибирская	~65	25,90/10,07	600	20,0	29,1
Черемуха азиатская	~67	29,30/11,11	971	21,1	~27,0
Боярышник Максимовича	~66	57,90/22,06	450	23,1	~28,0
Береза плосколистная	~68	-	140	10,3	~24,0



Рис. 2 – Транспирационная деятельность
Fig. 2 – Transpiration activity

Сравнение интенсивности транспирации, дневной ход которой у обоих рассматриваемых растений двувёршинный в середине лета, дает основание для утверждения о более интенсивной транспирационной деятельности черной смородины, что обусловлено, по-видимому, меньшим сопротивлением, испытываемым водой при передвижении вследствие более короткого пути от окончания всасывающих листьев, чем это имеет место у яблони (рис. 2).

В самые знойные полуденные часы летнего дня у яблони обнаруживались высокие скачки интенсивности транспирации, достигающие до 1500 мг воды на грамм сырого вещества в час и даже в отдельных случаях еще выше, чего, однако, при общей более высокой транспирационной деятельности не было зафиксировано у смородины. Высоко распростертая крона яблони при усилении иссушающего напряжения факторов внешней среды способна развивать большую водоприсасывающую силу, чем кусты смородины. К тому же необходимо иметь в виду, что яблоня имеет более мощно развитую и глубже уходящую в почву корневую систему, чем смородина. В условиях водного дефицита яблоня имеет определенные преимущества перед смородиной в использовании оставшейся в почве воды.

О свойственной смородине потребности поддерживать ткани в более насыщенном водой состоянии, чем у некоторых других древесно-кустарниковых растений, свидетельствует также определение дефицита насыщения ее листьев водой.

Дефицит насыщения, выражающий количество недостающей до полного насыщения клеток воды (в процентах), у листьев смородины заметно ниже, чем у листьев яблони и составляет в первом случае в среднем 19,8 %, а во втором – 29,1 %. Важно отметить, что растения дикорастущих видов черной смородины (охта, малоцветковая) имели более высокий дефицит насыщения листьев, чем растения инорайонных форм и сортов черной смородины при выращивании их в одинаковых условиях на открытых окультуренных участках.

Аналогичные различия выяснились при определении водоудерживающей способности, используемой в качестве одного из критериев при оценке степени засухоустойчивости растений. У листьев местных дикорастущих видов смородины водоудерживающие силы менее развиты, чем у листьев черной смородины, способной произрастать в Якутии. Отсюда можно заключить, что они менее приспособлены к произрастанию на открытых местностях с недостаточным увлажнением почвы.

Выявленные физиологические особенности черной смородины позволяют сформулировать агротехнические приемы для региона и почвенно-климатических условий.

Заключение

Дикорастущая черная смородина в условиях Якутии характеризуется высокой оводненностью листьев (71-79 %), относительно низкой поверхностной массой листьев и умеренной плотностью устьиц. По совокупности показателей её можно отнести к мезофитам с повышенной требовательностью к влагообеспечению. Между 19 исследованными формами смородины выявлены статистически значимые различия по показателям водного режима, что обосновывает необходимость дифференцированного подхода к их использованию в культуре. Местные дикорастущие формы (охта, малоцветковая) менее приспособлены к выращиванию на открытых участках с дефицитом влаги по сравнению с инорайонными формами, о чём свидетельствуют более высокий дефицит на-



сыщения и меньшая водоудерживающая способность. На основе физиологических особенностей предложены элементы агротехники (выбор участка, мульчирование, сроки посадки, подбор форм, защита от ветра), позволяющие минимизировать водный стресс и повысить приживаемость и продуктивность смородины при введении её в культуру.

Список источников

1. Гузеева А. и др. Содержание антоцианов в свежих и длительно замороженных плодах смородины черной (*Ribes nigrum* L.) сортов селекции ФГБНУ ФНЦ Садоводства. *Аграрная наука*. 2024;11:99-103. DOI 10.32634/0869-8155-2024-388-11-99-103
2. Бопп В. Л., Кураченко Н. Л. Влияние физических свойств субстратов на ризогенез черенков смородины черной (*Ribes nigrum* L.). *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2025;4(77):16-23. DOI 10.31677/2072-6724-2025-77-4-16-23
3. Панкратова А. А., Толоконцев Д. В., Кулева И. С. Оценка эффективности введения в культуру in vitro смородины черной сорта Дебрянск. *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2024;3(15):23-27. DOI 10.52025/2712-8679_2024_03_23
4. Акуленко Е. Г., Яговенко Г. Л., Каньшина М. В. Наследование содержания витамина С в ягодах смородины черной. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2022;4:18-20. DOI 10.31857/2500-2082/2022/4/18-20
5. Тихонова О. А. и др. Жизнеспособность пыльцы черной смородины до и после криоконсервирования в жидком азоте и особенности ее морфологии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):110-119. DOI 10.30901/2227-8834-2020-3-110-119
6. Черкашина М. И., Алимгафаров Р. Р., Черкашина А. Г. Агрохимическая характеристика почв под дикорастущей черной смородиной в Республике Саха (Якутия). *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2026;1:70-74. DOI 10.7868/S3034519726010126
7. Черкашина М. И., Ефимова А. А., Черкашина А. Г. Содержание витаминов и тяжелых металлов в ягодах дикорастущей черной смородины Якутии. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2019;4(26):40-47. DOI 10.31677/2311-0651-2019-26-4-40-47
8. Авакимян А. О., Амосова М. А., Карпушина М. В. Оценка эффективности санирующих средств из различных химических классов при введении подвоев косточковых культур in vitro. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2024;204:433-441. DOI 10.21515/1990-4665-204-045
9. Li W., Qin D., Ma R. et al. Comparative evaluation of physiological and molecular responses of blackcurrant varieties to powdery mildew infection. *Frontiers in Plant Science*. 2024;15. Art. 1445839. DOI: 10.3389/fpls.2024.1445839
10. Сазонов Ф. Ф. Генетические ресурсы смородины черной в селекции на крупноплодность. *Аграрный научный журнал*. 2024;7:39-46. DOI 10.28983/asj.y2024i7pp39-46
11. Панкратова А. А. и др. Оценка эффективности введения в культуру in vitro некоторых сортов смородины черной (*Ribes nigrum*). *Плодоводство и ягодоводство России*. 2025;82:29-37. DOI 10.31676/2073-4948-2025-82-29-37
12. Воронина М. С. и др. Исследование химических характеристик ягод черной смородины в ходе обработки жидким азотом. *Химия растительного сырья*. 2022;3:301-308. DOI 10.14258/jcrpm.20220310572
13. Салина Е. С., Левгерова Н. С., Сидорова И. А. Технологическая оценка пригодности сортов смородины черной для производства сока. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019;5:36-39. DOI 10.30850/vrsn/2019/5/36-39
14. Akatyev N. V. et al. Blackcurrant (*Ribes nigrum*) from Western Kazakhstan - a novel natural eco-friendly corrosion inhibitor of carbon steel. *Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences*. 2024;2(14):390-401. DOI 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-49
15. Филиппов Р. А., Смирнов И. Г. Научно-технологические этапы создания первого серийного отечественного ягодоуборочного комбайна. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2026;20(2):76-84. DOI 10.22314/2073-7599-2026-20-2-76-84
16. Кох Ж. А., Кох Д. А., Еременко О. Н. Разработка технологии ягодных морсов, обогащенных биологически активными веществами. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2026;88(1(107)):123-132. DOI 10.20914/2310-1202-2026-1-123-132
17. Нигматзянов Р. А., Сорокопудов В. Н. Бельская - новый сорт смородины черной. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023;53(4):64-70. DOI 10.26898/0370-8799-2023-4-7
18. Грибова Н. А. Исследование технологических процессов извлечения экстрактивных веществ из осмо-обезвоженной ягодной продукции. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2023;85(3(97)):153-157. DOI 10.20914/2310-1202-2023-3-153-157
19. Сазонов Ф. Ф. Проявление признака многокистности смородины черной. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023;53(4):23-33. DOI 10.26898/0370-8799-2023-4-3
20. Сазонова И. Д. Биохимическая оценка плодов малины и смородины в условиях югозападной части Нечерноземья России. *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021;5(87):36-44. DOI: 10.52691/2500-2651-2021-875-36-44

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Reference

1. Guzeeva A. et al. Anthocyanin content in fresh and long-term frozen black currant (*Ribes Nigrum* L.) varieties bred by the federal horticultural center for breeding, agrotechnology and nursery. *Agrarian Science*. 2024;11:99-103. (in Russ). DOI 10.32634/0869-8155-2024-388-11-99-103
2. Bopp V. L., Kurachenko N. L. Influence of physical properties of substrates on rhizogenesis of black currant cuttings (*Ribes Nigrum* L.). *Vestnik university of biotechnologiy*. 2025;4(77):16-23. (in Russ). DOI 10.31677/2072-6724-2025-77-4-16-23
3. Pankratova A. A., Tolokontsev D. V., Kuleva I. S. Evaluation of the efficiency of in vitro introduction of black currant cultivar Debryansk into culture. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem region*. 2024;3(15):23-27. (in Russ). DOI 10.52025/2712-8679_2024_03_23
4. Akulenko E. G., Yagovenko G. L., Kanshina M. V. Inheritance of vitamin C content in black currant berries. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2022;4:18-20. (in Russ). DOI 10.31857/2500-2082/2022/4/18-20
5. Tikhonova O. A. et al. Viability of black currant pollen before and after cryopreservation in liquid nitrogen, and its morphological features. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020;181(3):110-119. (in Russ). DOI 10.30901/2227-8834-2020-3-110-119
6. Cherkashina M. I., Alimgafarov R. R., Cherkashina A. G. Agrochemical characteristic of the soils where wild black currants grow in the Republic of the Sakha (Yakutia). *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2026;1:70-74. (in Russ). DOI 10.7868/S3034519726010126
7. Cherkashina M. I., Efimova A. A., Cherkashina A. G. The content of vitamins and heavy metals in berries of wild blackcurrant of Yakutia. *Innovations and food safety*. 2019;4(26):40-47. (in Russ). DOI 10.31677/2311-0651-2019-26-4-40-47
8. Avakimyan A. O., Amosova M. A., Karpushina M. V. Assessment of the effectiveness of sanitizing agents from various chemical classes during the introduction of stone fruit cultures under in vitro conditions. *Polythematic online scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2024;204:433-441. (in Russ). DOI 10.21515/1990-4665-204-045
9. Li W., Qin D., Ma R. et al. Comparative evaluation of physiological and molecular responses of blackcurrant varieties to powdery mildew infection. *Frontiers in Plant Science*. 2024;15. Art. 1445839. DOI: 10.3389/fpls.2024.1445839
10. Sazonov F. F. Genetic resources of black currant in large-fruited breeding. *The Agrarian Scientific Journal*. 2024;7:39-46. (in Russ). DOI 10.28983/asj.y2024i7pp39-46
11. Pankratova A. A. et al. Effectiveness evaluation of introducing blackcurrant varieties (*Ribes Nigrum*) into in vitro culture. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2025;82:29-37. (in Russ). DOI 10.31676/2073-4948-2025-82-29-37
12. Voronina M. S. et al. Study of chemical characteristics of blackcurrant berries during treatment with liquid nitrogen. "Khimija rastitel'nogo syr'ja" ("Chemistry of plant raw material"). 2022;3:301-308. (in Russ). DOI 10.14258/jcprm.20220310572
13. Salina E. S., Levgerova N. S., Sidorova I. A. Technological assessment of usefulness of black currant varieties to juice production. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2019;5:36-39. (in Russ). DOI 10.30850/vrsn/2019/5/36-39
14. Akatyev N. V. et al. Blackcurrant (*Ribes nigrum*) from Western Kazakhstan - a novel natural eco-friendly corrosion inhibitor of carbon steel. *Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences*. 2024;2(14):390-401. DOI 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-49
15. Filippov R. A., Smirnov I. G. Scientific and technological stages of the creation of the first serial domestic berry harvester. *Agricultural machinery and technology*. 2026;20(2):76-84. (in Russ). DOI 10.22314/2073-7599-2026-20-2-76-84
16. Koch Z.A., Koch D.A., Yermenko O.N. Development of technology for berry fruit drinks enriched with biologically active substances. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2026;88(1(107)):123-132. (in Russ). DOI 10.20914/2310-1202-2026-1-123-132
17. Nigmatzyanov R. A., Sorokopudov V. N. Belskaya - a new variety of black currant. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2023;53(4):64-70. (in Russ). DOI 10.26898/0370-8799-2023-4-7
18. Gribova N. A. Study of technological processes of extractive substances extraction from osmo-dehydrated berry products. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2023;85(3(97)):153-157. (in Russ). DOI 10.20914/2310-1202-2023-3-153-157
19. Sazonov F. F. Manifestation of multiple racemes trait of black currant. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2023;53(4):23-33. (in Russ). DOI 10.26898/0370-8799-2023-4-3
20. Sazonova I.D. Biochemical assessment of raspberry and currant berries in the south-western part of the non-black earth region of Russia. *Scientific Journal of Federal State Budgetary Educational institution of Higher Education "Bryansk State Agrarian University" (Vestnik Bryanskoi GSHA)*. 2021;5(87):36-44. (in Russ). DOI: 10.52691/2500-2651-2021-875-36-44

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

Черкашина Мария Ильинична, заведующий отделом биоклональной и молекулярно-генетической лаборатории центра коллективного пользования, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», г. Якутск, Россия 703210@mail.ru

Алимгафаров Раиль Рафикович, канд. с.-х. наук, доцент, декан факультета агротехнологий и лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, Россия

Ахияров Булат Гилимханович, канд. с.-х. наук, доцент кафедры растениеводства, селекции растений и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, Россия

Черкашина Анна Георгиевна, д-р с.-х. наук, профессор кафедры «Зоотехния» имени академика А.В. Чугунова, факультет агробизнеса, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», г. Якутск, Россия

Author Information

Maria I. Cherkashina, Head of the Department of the Bioclonal and Molecular Genetic Laboratory of the Center for Collective Use, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia 703210@mail.ru

Rail R. Alimgafarov, Cand.Sc. (Agriculture), Associate Professor, Dean of the Faculty of Agrotechnology and Forestry, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Bulat G. Akhiyarov, Cand.Sc. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Crop Production, Plant Breeding and Biotechnology, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Anna G. Cherkashina, D.Sc. (Agriculture), Professor of the Department of Animal Science named after Academician A.V. Chugunov, Faculty of Agribusiness, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Статья поступила в редакцию 26.05.2026; одобрена после рецензирования 12.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 26.05.2026; approved after reviewing 12.08.2026; accepted for publication 16.09.2026.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Вестник РГТУ, 2026, т.18, №3, с. 75-81
Vestnik RGATU, 2026, Vol.18, №3, pp 75-81

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 628.1.034.3
DOI: 10.36508/RSATU.2026.30.74.010

ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ И ДЕМАНГАНАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОЗОНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАКУУМНО-ЭЖЕКЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Ольга Николаевна Вольская

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, Россия

✉ volskaya_o_8@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В природных артезианских водах марганец зачастую присутствует как спутник двух- и трехвалентного железа. Уровень его содержания, как правило, ниже, чем у железа, однако может значительно превышать ПДК – в пять, десять раз и более. Двухвалентный марганец отличается устойчивостью к окислению кислородом в химическом процессе в условиях, когда уровень pH менее 8,5. Тем не менее, большинство железобактерий обладает способностью окислять и этот элемент [1-5]. Эти процессы основаны на перекисном механизме, который объясняет, почему возможно биологическое окисление марганца при pH, близком к нейтральному, характерном для множества природных артезианских вод. Из-за специфики механизмов биологического окисления двухвалентного железа и марганца, когда они присутствуют вместе, их удаление происходит поэтапно. Окисление двухвалентного марганца начинается только после перехода двухвалентного железа в трехвалентное. В связи с этим в основном предпочтение отдается двухступенчатым схемам для удаления вышеуказанных соединений [2,4]. Однако, исследованиями и многолетним опытом эксплуатации станций очистки природных грунтовых вод проектным институтом «Волгоградагропромпроект» (далее ПИИ «Волгоградпроект») предлагается удаление двухвалентного марганца и железа в одном сооружении, используя уникальный вакуумно-эжекционный аппарат ВЭА, который позволяет за доли секунд добиться снижения остаточного содержания железа, марганца, сероводорода, двуокиси углерода и др. в обрабатываемой воде до заданных величин, уменьшит общие капитальные вложения за счет снижения расходов металла, экономии производственных площадей, электроэнергии и трудозатрат, увеличить долговечность эксплуатируемых трубопроводов и оборудования.

Методология. Автором совместно со специалистами ПИИ «Волгоградпроект» в 2000 году был разработан проект установки обезжелезивания и деманганации подземных вод с подачей озono-воздушной смеси на основе уникального вакуумно-эжекционного метода производительностью 16000 м³/сут в г. Ханты-Мансийске. Основанием послужил заказ на разработку данного проекта водозабора «Северный» (обслуживающий большую часть города чистой водой) от УКС администрации г. Ханты-Мансийска.

Результаты. Содержание железа после фильтра первой ступени снижается с 4,2-3,4 мг/дм³ до 0,5-0,4 мг/дм³. На фильтрах второй ступени содержание железа снижается до значений 0,23 -0,17 (ПДК 0,3 мг/дм³) и марганца 0,10-0,08 мг/дм³ (ПДК 0,1 мг/дм³), что соответствует нормативным требованиям СанПиН 2.1.3684-21¹.

Заключение. На протяжении 25 лет (с момента проектирования в 2000 г. по настоящее время) качество питьевой воды водозабора «Северный» (обслуживающий большую часть города чистой во-

¹ СанПиН 2.1.3684-21 21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий"

СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».



дой) г. Ханты-Мансийска соответствует нормативным требованиям, поддерживая стабильную и надежную работу водоочистных сооружений. Производительность очистных сооружений корректируется количеством работающих скважин; количеством работающих ВЭА в аэраторе-дегазаторе.

Ключевые слова: обезжелезивание и деманганация подземных вод, песчаная фильтрующая загрузка, вакуумно-эжекционный аппарат

Для цитирования: Вольская О. Н. Обезжелезивание и деманганация подземных вод озono-воздушной смесью с использованием вакуумно-эжекционных аппаратов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.75-81 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.30.74.010>

Original article

IRON REMOVAL AND DEMANGANATION OF GROUNDWATER WITH AN OZONE-AIR MIXTURE USING VACUUM-EJECTION DEVICES

Olga N. Volskaya

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

✉ volskayao_8@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. In natural artesian waters manganese is often present as a companion of bivalent and trivalent iron. Its content is usually lower than that of iron, but it can significantly exceed the maximum permissible concentration (MPC) by 5-10 times or more. Divalent manganese is resistant to oxidation by oxygen in a chemical process in conditions where the pH level is less than 8.5. Nevertheless, most iron bacteria have the ability to oxidize this element as well [1-5]. These processes are based on the peroxide mechanism which explains why biological oxidation of manganese is possible at a pH close to neutral, typical of many natural artesian waters. Due to the specific mechanisms of biological oxidation of divalent iron and manganese, when they are present together, their removal occurs in stages. The oxidation of divalent manganese begins only after the transition of divalent iron to trivalent iron. In this regard, two-stage schemes for removing the above compounds are generally preferred [2,4]. However, research and long-term experience in operating natural groundwater treatment plants by the Volgogradagropromproekt Design Institute (hereinafter referred to as Volgogradproekt) suggests removing divalent manganese and iron in one facility using a unique vacuum ejection device. It allows reducing the residual content of iron, manganese, hydrogen sulfide, carbon dioxide, etc. in fractions of seconds. to reduce total capital investments in treated water to specified values by reducing metal costs, saving production space, electricity and labor costs, and increasing the durability of operated pipelines and equipment.

Methodology. In 2000 the author and specialists from Volgogradproekt developed a project for an installation for de-icing and demanganing groundwater with an ozone-air mixture based on a unique vacuum-ejection method with a capacity of 16,000 m³/day in Khanty-Mansiysk. Khanty-Mansiysk city administration ordered development of this project of the Severny water intake serving most of the city with clean water.

Results. The iron content after the first stage filter decreases from 4.2-3.4 mg/dm³ to 0.5-0.4 mg/dm³. In the second stage filters the iron content decreases to values of 0.23-0.17 (MPC 0.3 mg/dm³) and manganese 0.10-0.08 mg/dm³ (MPC 0.1 mg/dm³) which meets regulatory requirements SanPiN (Sanitary Regulations and Norms) 2.1.3684-21.

Conclusion. For 25 years (2000-2026, from the moment of design to the present), the drinking water quality of the Severny intake (which serves most of the city with clean water) in Khanty-Mansiysk has been in compliance with regulatory requirements, maintaining stable and reliable operation of water treatment plants. The productivity of sewage treatment plants is being adjusted the number of working wells and the number of working VEA in the aerator-degasser.

Key words: de-icing and demanganation of groundwater, sand filtration loading, vacuum-ejection apparatus

For citation: Volskaya O. N. Iron removal and demanganation of groundwater with an ozone-air mixture using vacuum-ejection devices // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P.75-81 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.30.74.010>

Введение

Если подземные воды образуют жёлтые осадки, это означает, что в них содержится высокий уровень Fe⁺² и Mn⁺², которые в свою очередь пагубно влияют на здоровье человека. Поэтому необходим метод обезжелезивания и деманганации с хорошим качеством и экономичным способом для улучшения качества подземных вод. Ученые и изобретатели на протяжении столетия работают над совершенствованием методов и техноло-

гий удаления железа и марганца, о чем говорится в статьях (Очистка поверхностных вод озонами: Специальность - 05.23.04 - Водоснабжение, канализация, строит. системы охраны вод. ресурсов: Дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / Л.А. Васильев; Науч. консультант В.В.Найденко; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. - Н.Новгород, 2001. - 499 с.: ил. - Библиогр.: с. 437-451; Седлухо Ю.П. Влияние аэрационно-дегазационных процессов на свойства подземных вод и технологии их био-



логического обезжелезивания и деманганации // Вода. - 2012, №7-8(181); Кулаков В.В., Сошников Е.В., Чайковский Г.П. Обезжелезивание и деманганация подземных вод. - Хабаровск: Изд. ДВГУПС, 1998. - 100 с.; Журба М.Г. и др. Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. - 2006, №9. - С. 17-23.; Менча М.Н. Железобактерии в системах питьевого водоснабжения из подземных источников // Водоснабжение и санитарная техника. - 2006, №7. - С. 25-32.).

Автор предлагает метод вакуумно-эжекционный, который доказал эффективность очистки подземной воды на примере внедрения проекта водозабора «Северный в г. Ханты-Мансийске.

Метод обезжелезивания и деманганации природных артезианских вод с использованием ВЭА впервые был разработан и внедрен в промышленное производство проектным институтом «Волгоградгазпромпромпроект» (далее НИИ «Волгоградпроект») канд. техн. наук, главный специалист института – Комарчев Иван Григорьевич. Под его руководством и позже самостоятельно автор принимал непосредственное участие в проектировании и пусконаладочных работах. Большой опыт по внедрению ВЭА обезжелезивания и деманганации природных артезианских вод позволяет автору дать высокую оценку, по сравнению с существующими методами очистки воды для хоз-питьевого водоснабжения, именно этому способу, как наиболее экономически эффективному, позволяющему внедрить ВЭА в существующую технологическую схему без увеличения производственных мощностей, имеющему малые габариты и металлоемкость, что дает возможность снизить удельные капитальные и трудовые затраты.

Используя ВЭА самостоятельно, возможно увеличить хемосорбцию озono-воздушной смеси и снизить остаточное содержание железа, марганца, сероводорода, углекислого газа и др. в обрабатываемой воде до заданных величин за доли секунд.

Хемисорбция озono-воздушной смесью подробно описана в статьях [1-12].

Материалы и методы исследований

Автором совместно со специалистами ПИИ «Волгоградпроект» в 2000 году был разработан проект установки обезжелезивания и деманганации подземных вод с подачей озono-воздушной смеси на основе уникального вакуумно-эжекционного метода производительностью 16000 м³/сут в г. Ханты-Мансийске.

Основанием послужил заказ на разработку данного проекта водозабора «Северный» (обслуживающий большую часть города чистой водой) от УКС администрации г. Ханты-Мансийска.

Сверхнормативные показатели исходной воды водозабора «Северный» по СанПиН 2.1.3684-21 следующие:

1. Для хозяйственно-питьевых нужд железо общее не должно превышать 0,3 мг/л. По анализам оно равно 4,5 и более мг/л. Как известно, железо придает воде специфический привкус, а в больших концентрациях ухудшает физические

свойства воды (уменьшает прозрачность и увеличивает цветность).

По предлагаемой технологии двухвалентное железо окисляется кислородом воздуха в трехвалентное вакуумными эжекторами в аэраторе-дегазаторе (п.6. рис. 1).

2. Марганец придает воде металлический привкус. Содержание его в воде не должно превышать 0,1 мг/л, показатель по водозабору равен 0,25 мг/л. При pH=7, двухвалентный марганец переходит в трех- и четырехвалентный только озонированием.

Озон по технологии подается в вакуумные камеры ВЭА (рис. 2).

3. Сероводород – токсичный газ, ПДК его в воздухе равна 0,01 г/м³. В воде его присутствие обнаруживается по характерному отчетливому запаху тухлых яиц (4 балла), при концентрации его 0,5 мг/л. По анализам его содержание 2-3 балла (0,2-0,3 мг/л), а ПДК = 0,003.

Для удаления сероводорода из исходной воды применяется десорбция и окисление кислородом воздуха с помощью ВЭА.

4. Органолептические показатели:

Цветность – показатель качества воды, характеризующий интенсивность окраски воды, выражающаяся в градусах. Цветность исходной воды 45°. Допускается – 20°, ПДК – 35°.

Убирается озоном.

5. Мутность – характеризуется содержанием в воде взвешенных, легкоразмываемых пород (глин). В исходной воде мутность достигает 27 мг/л. Допускается не более 1,5 мг/л.

Мутность устраняется фильтрами с зернистой загрузкой (п.9 рис. 1).

6. Свободная углекислота CO₂ придает воде привкус. Оказывает вредное воздействие на металлы, корродируя их, снимает карбонатную защитную пленку в металлических трубах.

Удаляется в ВЭА.

Технология водоподготовки водоочистных сооружений Муниципального Водоканализационного предприятия города Ханты-Мансийска с использованием экологически чистых фильтрующих материалов базируется на современных физико-химических методах улучшения ее качественного состава, что позволяет получить воду безопасную в эпидемическом и радиационном отношении, по своему химическому составу и в целом соответствующую требованиям СанПиН 2.1.3684-21.

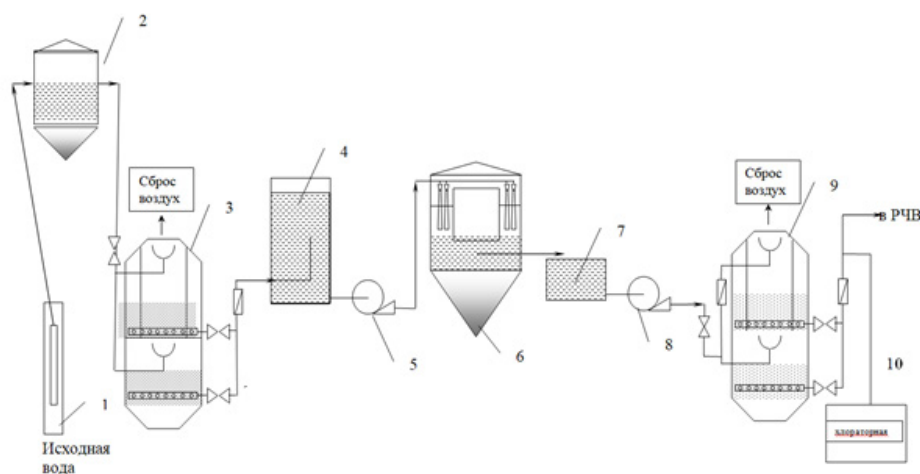
Водоподготовка представляет собой многоступенчатый процесс и имеет следующую последовательность очистки воды (рис.1): от песка и любых твердых взвешенных частиц; далее обработку исходной воды озono-воздушной смесью сначала на фильтрах первой ступени, затем через аэратор-дегазатор, где происходит одновременно насыщение воды кислородом и посредством установленных вакуумно-эжекционных установок, происходит отработка содержащихся в воде растворенных газов, с дальнейшей фильтрацией на фильтрах второй ступени. Завершающим этапом очистки, перед подачей готового продукта потребителю, является обеззараживание воды посред-



ством прохождения через установку с ультрафиолетовым облучением.

Технологический регламент составлен по результатам пусконаладочных работ, проведенных

после реконструкций и модернизаций, а также данных, полученных из опыта эксплуатации очистных сооружений.



- 1 – скважины водозабора; 2 – песколовка; 3 – фильтры 1-й ступени;
4 – емкость-усреднитель, 1000 м³; 5 – насосная подачи воды в аэратор;
6 – аэратор-дегазатор с ВЭА; 7 – промежуточная емкость 100м³;
8 – насосная подачи воды на фильтры 2-й ступени; 9 – фильтры 2-й ступени, 10 – хлораторная

Рис. 1 – Технологическая схема обработки воды водозабора «Северный» г. Ханты-Мансийска

Схема очистки подземных вод, применяемая в настоящее время на водозаборе «Северный» г. Ханты -Мансийска, предусматривает пескоотделительную установку гидроциклонного типа (п.2, рис 1), где происходит удаление твердых частиц из исходной воды.

Затем вода подается на фильтры первой ступени (п.3, рис.1), загруженные фильтрующим материалом «горелая порода». Горелые породы – розовый песок, из дробленых горных пород, являются самым высококачественным и эффективным из всех известных фильтрующих материалов для загрузки фильтров питьевого назначения. Особенность горных, горелых пород – это высокая микропористость, как следствие, появления микрощелей при природном обжиге и достаточно высокая адсорбционная активность, которая эффективно используется для обезжелезивания подземной воды.

Для регулирования концентрации озono-воздушной смеси смонтирована система раздельной подачи ее в устройства смешения на фильтрах первой ступени и аэратор-дегазатор.

Часть воды проходит через устройства смешения, где контактирует с озono-воздушной смесью и подаваемой водой на фильтр. Вследствие смешения протекают биохимические процессы окисления растворенных соединений железа и марганца.

Далее фильтрат первой ступени подается в резервуар-усреднитель (п. 4, рис.1) или напрямую, по обводному стальному трубопроводу ф-400мм насосами «Иртыш» (насосная подкачки на аэратор) в аэратор-дегазатор (п.6, рис.1).

Резервуар-усреднитель предназначен для поддержания стабильной работы насосного оборудования подачи воды на аэратор в случае аварийной остановки скважин. Объем резервуара 1000м³. Поддерживается уровень в резервуаре-усреднителе 7-8 м.

Насосная станция подкачки на аэратор-дегазатор предназначена для подачи воды на вакуумно-эжекторные аппараты (ВЭА), установленные в аэраторе-дегазаторе.

Конструкция аэратора-дегазатора с ВЭА показана на фото 1 и 2. На площадке аэратора-дегазатора (отм. +9.500 м) по радиусу 4500 мм на патрубках Ду = 350 мм установлено 28 пар эжекторов специальной конструкции (ВЭА) производительностью 25 м³/ч каждая пара. Авторы подробно описывают работу ВЭА в научных трудах (Боровой, Е.П. Совершенствование технологий очистки и активации подземных вод для эффективного использования в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения: монография / Е.П. Боровой, О.Н. Вольская, А.А. Чураков; Волгогр. гос. техн. ун-т. - Волгоград: монография, 2020. - 101 с.). ВЭА по радиусу подключены к распределительному кольцу исходной воды Ду = 300 мм (Dк1 = 7860 мм, отм. +11.530), установка также включает распределительное кольцо озono-воздушной смеси Ду = 200 мм (Dк2 = 7160 мм, отм. +10.457), к которому также по радиусу подключается 28 пар ВЭА (рис.2). Подключение ВЭА по исходной воде и озono-воздушной смеси производится стальной арматурой соответственно Ду = 80 мм и Ду = 40 мм (п. 1-5,7,8 рис. 2). Арматура необходима для производства эксплуатационных и ремонтных работ.

- 1 – intake wells;
2 – and trap;
3 – filters of the 1st stage; 4 – averaging tank, 1000 m³; 5 – pumping water supply to the aerator;
6 – aerator degasser with VEA; 7 – intermediate tank of 100m³; 8 – pumping water supply to filters of the 2nd stage; 9 – filters of the 2nd stage, 10 – chlorination
Fig. 1 – Technological scheme of water treatment of the Severny intake in Khanty-Mansiysk



Отметка высоты аэратора-дегазатора принята с учетом вывода ВЭА из схемы обработки на капитальный ремонт или его замены. Для отвода выделившихся газов предусмотрена принудительная приточно-вытяжная вентиляция.

Работа установки предусматривается по следующей схеме.

Исходная вода подается на обработку к распределительному кольцу с давлением не ниже 0,45 МПа. К распределительному кольцу исходной воды подключены 28 пар ВЭА, расположенные вертикально по радиусу на площадке обслуживания аэратора-дегазатора.

Спаренные ВЭА являются главным элементом схемы, в них происходит основной процесс окисления Fe и Mn, а также удаление CO_2 , H_2S , NH_3 и др. газов.

В вакуумную зону камеры смешения ВЭА (п.6, рис.2) подается озono-воздушная смесь. Для этой цели предусмотрена установка распределительного кольца озono-воздушной смеси с подключением к нему по радиусу 28 пар ВЭА.

Далее обработанная вода поступает на отбойные пластины ВЭА (п.12, рис.2), где заканчивается процесс дробления потока и отделение CO_2 , H_2S , NH_3 и др. газов, а также окисление Fe и Mn. Выделившиеся из обработанной воды газы удаляются из аэратора-дегазатора посредством принудительной вытяжной вентиляции, а хлопья окисленных железа и марганца выпадают в осадок с последующим удалением из аэратора-дегазатора шламопроводом. Из аэратора через переливную воронку вода поступает в промежуточную емкость.

Промежуточная емкость (объем 100 м^3) предназначена для приема очищенной воды из аэратора-дегазатора и обеспечения необходимого объема воды для работы насосов, подающих воду на напорные фильтры 2-й ступени.

Емкость, диаметром 3,3 м и длиной 12 м, оборудована подающим и отводящим трубопроводами, переливной трубой, выполнена из нержавеющей стали и оборудована теплоизоляцией.

Фильтрат с первой ступени, пройдя через аэратор-дегазатор, задвижку №46 поступает на вторую ступень фильтрования.

В качестве фильтров второй ступени в помещении фильтровального зала установлено 4 фильтра ФОВ-2К-3,4-0,6, загруженные активированным углем из скорлупы кокосового ореха марки КАУСОРБ-212, фракционный состав от 0,8 до 2,0 мм. Аналогично фильтрам первой ступени, для соблюдения скоростного режима фильтрации (от 8,5 до 11 м/с), вода распределяется на фильтрах равномерно и контролируется оператором после каждого изменения объема воды, подаваемой на сооружения.

Скорость процесса окисления и осаждения марганца на фильтрующей загрузке второй ступени прямо пропорциональна показателю pH в обрабатываемой воде.

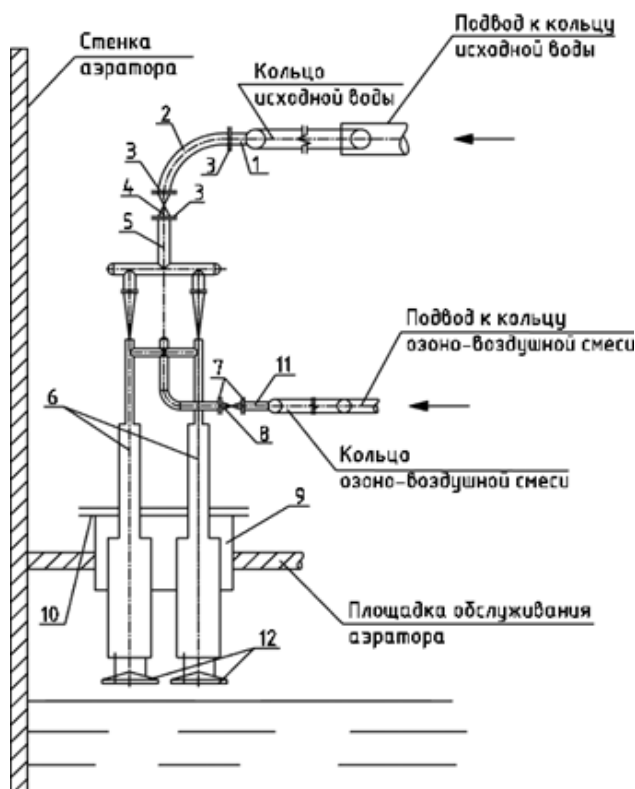
Чем ниже показатель содержания растворенного в воде углекислого газа (CO_2) при входе на вторую ступень, тем выше значение pH и эффек-

тивнее происходят процессы окисления марганца.

Чтобы окислить 1 мг растворенного в воде марганца, необходимо не менее 1,5 мг растворенного в воде кислорода.

Фильтрат второй ступени поступает в резервуары-накопители чистой воды.

Затем из резервуара чистой воды на бактерицидную установку и далее потребителю.



- 1 – патрубок к спаренному ВЭА;
 2 – отвод Ду=80 мм – 28 шт.; 3 – фланец Ду=80 мм – 112 шт.;
 4 – вентиль Ду=80 мм – 28 шт.; 5 – тройник Ду=80 мм – 28 шт.; 6 – спаренный ВЭА – 28 шт.;
 7 – фланец Ду=40 мм – 56 шт.; 8 – вентиль Ду=40 мм – 28 шт.; 9 – патрубок Ду=300 мм – 28 шт.; 10 – фланец Ду=300 мм – 28 шт.; 11 – подвод озono-воздушной смеси Ду=40 мм – 28 шт.;
 12 – отбойная пластина – 56 шт.

Рис. 2 – Установка обезжелезивания и деманганации подземной воды в аэраторе-дегазаторе с ВЭА

- 1 – pipe to a paired VEA; 2 – outlet D=80 mm – 28 pcs.; 3 – flange D=80 mm – 112 pcs.; 4 – valve D=80 mm – 28 pcs.; 5 – tee DW=80 mm – 28 pcs.;
 6 – paired VEA – 28 pcs.; 7 – flange Dw=40 mm – 56 pcs.; 8 – valve Dw=40 mm – 28 pcs.;
 9 – nozzle Dw=300 mm – 28 pcs.; 10 – flange Dw=300 mm – 28 pcs.; 11 – supply of ozone-air mixture D=40 mm – 28 pcs.; 12 – jack plate – 56 pcs.

Fig. 2 – Installation of de-ironing and demanganation of groundwater in an aerator-degasser with VEA



Результаты и их обсуждение

Правильно смонтированная и выведенная на расчетные режимы установка аэратора-дегазатора

ра с ВЭА работает надежно и позволяет довести очистку воды до заданных параметров (табл. 1).

Таблица 1 – Расчетные показатели работы аэратора-дегазатора с ВЭА

№№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Кол-во
1	2	3	4
1.	Производительность установки	м³/сут	16000
		м³/ч	666
		л/с	185
2.	Количество часов работы (в сутки)	час	24
3.	Количество спаренных ВЭА	шт.	28
4.	Производительность пары ВЭА	м³/ч	25
5.	Давление перед ВЭА (не менее)	МПа	0,45
1	2	3	4
6.	Расход озона	кг/ч	3,96
7.	Показатели установки (по проекту):		
	железо	мг/л	0,2
	сероводород	мг/л	0
	марганец	мг/л	0,1
	аммиак	мг/л	0

Заключение

На протяжении 25 лет (с момента проектирования в 2000 г. по настоящее время) качество питьевой воды водозабора «Северный» (обслуживающий большую часть города чистой водой) г. Ханта-Мансийска соответствует нормативным требованиям, поддерживая стабильную и надежную работу водоочистных сооружений.

Производительность очистных сооружений корректируется:

- количеством работающих скважин;
- количеством работающих ВЭА в аэраторе-дегазаторе.

Содержание железа после фильтра первой ступени снижается с 4,2-3,4 мг/дм³ до 0,5-0,4 мг/дм³.

На фильтрах второй ступени содержание железа снижается до значений 0,23-0,17 (ПДК 0,3 мг/дм³) и марганца 0,10-0,08 мг/дм³ (ПДК 0,1 мг/дм³), что соответствует нормативным требованиям СанПиН 2.1.3684-21.

Список источников

1. Li. H. Cheng, Zh. Zh. Xiong, Sh. Cai [et al.] Aeration-manganese sand filter-ultrafiltration to remove iron and manganese from water: Oxidation effect and fouling behavior of manganese sand coated film. *Journal of Water Process Engineering*. 2020;38:101621. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101621.
2. Qorina R. [et al.] Efektivitas Penurunan Kadar Fe Dan Mn Pada Air Sumur Gali Kelurahan Jati Utomo Kota Binjai Dengan Metode Filtrasi. *Jurnal Redoks*. 2023;8(2):26-31. DOI 10.31851/redoks.v8i2.13155.
3. H. Yang, Z. Yan, X. Du [et al.] Removal of manganese from groundwater in the ripened sand

filtration: Biological oxidation versus chemical autocatalytic oxidation. *Chemical Engineering Journal*. 2019;363:123033. DOI 10.1016/j.cej.2019.123033.

4. S. M. Mcallister, C. S. Chan, S. W. Polson [et al.] Validating the Cyc2 Neutrophilic Iron Oxidation Pathway Using Meta-omics of Zetaproteobacteria Iron Mats at Marine Hydrothermal Vents. *mSystems*. 2020;5(1):e00553-19. DOI 10.1128/mSystems.00553-19.

5. M. N. Tomac and J. W. Gregory. Phase-synchronized uidic oscillator pair. *AIAA Journal*. 2019;57(2):670681.

6. Kihn A., Laurent P., Servais P. Measurement of potential activity of fixed nitrifying bacteria in biological filters used in drinking water production. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2000;24(3):161-166.

7. W. Hu, J. Liang, F. Ju [et al.] Metagenomics Unravels Differential Microbiome Composition and Metabolic Potential in Rapid Sand Filters Purifying Surface Water Versus Groundwater. *Environmental Science and Technology*. 2020;54(8):5197-5206. DOI 10.1021/acs.est.9b07143.

8. Велюго Е.С. Причины загрязнения подземных вод железом с учетом его гидрогеохимических особенностей на территории Республики Беларусь. Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Стр-во. Приклад. науки. 2021;8:21–24.

9. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water. *Environmental Technology*. 2024;45(14):2735–2742 (P. 1-8). DOI 10.1080/09593330.2023.2185820.



10. Muzafarov S. M. [et al.] Substantiation of a method for increasing the efficiency of the electrosynthesis of ozone by using periodic voltage pulses. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* : 1, Tashkent, Virtual. Tashkent, Virtual: IOP Publishing Ltd. 2020:012049. DOI 10.1088/1755-1315/614/1/012049.

11. Литвиненко З. Н., Кондратьева Л. М., Коновалова Н.С. Исследование формирования и

состава биопленок в наземной системе водоподготовки железосодержащих подземных вод. *Биотехнология*. – 2022; 38(3): 70-81. – DOI 10.56304/S023427582203005X. – EDN NPZBLI.

12. Максимович Н. Г. [и др.] Моделирование процесса очистки подземных вод от растворенных нефтепродуктов при использовании биотехнологических методов. *Георесурсы*. 2024;26(2):124-134. DOI 10.18599/grs.2024.2.11.

References

1. Li. H. Cheng, Zh. Zh. Xiong, Sh. Cai [et al.] Aeration-manganese sand filter-ultrafiltration to remove iron and manganese from water: Oxidation effect and fouling behavior of manganese sand coated film. *Journal of Water Process Engineering*. 2020;38:101621. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101621.

2. Qorina R. [et al.] Efektivitas Penurunan Kadar Fe Dan Mn Pada Air Sumur Gali Kelurahan Jati Utomo Kota Binjai Dengan Metode Filtrasi. *Jurnal Redoks*. 2023;8(2):26-31. DOI 10.31851/redoks.v8i2.13155.

3. H. Yang, Z. Yan, X. Du [et al.] Removal of manganese from groundwater in the ripened sand filtration: Biological oxidation versus chemical auto-catalytic oxidation. *Chemical Engineering Journal*. 2019;363:123033. DOI 10.1016/j.cej.2019.123033.

4. S. M. Mcallister, C. S. Chan, S. W. Polson [et al.] Validating the Cyc2 Neutrophilic Iron Oxidation Pathway Using Meta-omics of Zetaproteobacteria Iron Mats at Marine Hydrothermal Vents. *mSystems*. 2020;5(1):e00553-19. DOI 10.1128/mSystems.00553-19.

5. M. N. Tomac and J. W. Gregory. Phase-synchronized uidic oscillator pair. *AIAA Journal*. 2019;57(2):670681.

6. Kihn A., Laurent P., Servais P. Measurement of potential activity of fixed nitrifying bacteria in biological filters used in drinking water production. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2000;24(3):161-166.

7. W. Hu, J. Liang, F. Ju [et al.] Metagenomics Unravels Differential Microbiome Composition and Metabolic Potential in Rapid Sand Filters Purifying Surface Water Versus Groundwater. *Environmental Science and Technology*. 2020;54(8):5197-5206. DOI 10.1021/acs.est.9b07143.

8. Velyugo, E.S. The causes of underground water pollution with iron in the territory of the Republic of Belarus fre described, taking into account the hydrogeochemical features of this metal. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*. 2021;8:21–24. (in Russ).

9. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water. *Environmental Technology*. 2024;45(14):2735–2742 (P. 1-8). DOI 10.1080/09593330.2023.2185820.

10. Muzafarov S. M. [et al.] Substantiation of a method for increasing the efficiency of the electrosynthesis of ozone by using periodic voltage pulses. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* : 1, Tashkent, Virtual. Tashkent, Virtual: IOP Publishing Ltd. 2020:012049. DOI 10.1088/1755-1315/614/1/012049.

11. Litvinenko Z.N. Kondratieva L.M., Konovalova N.S. Investigation of the formation and composition of biofilms in the terrestrial water treatment system of iron-containing groundwater. *Biotechnology*. 2022;38(3):70-81. (in Russ).

12. Maksimovich N. G. [et al.] Hydrogeological modeling of groundwater treatment from dissolved hydrocarbons using biotechnological solutions. *Georesursy (Georesources)*. 2024;26(2):22-35. (in Russ). DOI 10.18599/grs.2024.2.2

Информация об авторах

Вольская Ольга Николаевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, Россия volskayao_8@mail.ru

Author Information

Olga N. Volskaya, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Building Structures, Foundations and Reliability of Structures Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia volskayao_8@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.04.2026; одобрена после рецензирования 11.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 21.04.2026; approved after reviewing 11.08.2026; accepted for publication 16.09.2026



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.171:004.3:004.932
DOI: 10.36508/RSATU.2026.41.45.011

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Отари Назирович Дидманидзе¹, Екатерина Петровна Парлюк¹✉, Павел Николаевич Косов¹

¹ ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия

✉ kparlyuk@yandex.ru.

Аннотация

Проблема и цель. В статье рассмотрены основные методы оптимизации состава машинно-тракторного парка, предложенные российскими и зарубежными учёными. Отдельное внимание уделено вопросу о том, насколько эти методы подходят для малых фермерских хозяйств Западной Африки. Показано, что классические модели, созданные для крупных специализированных хозяйств, плохо учитывают реальные условия западноафриканского сельского хозяйства. Более перспективными выглядят подходы, связанные с арендой техники и оказанием механизированных услуг по договору. Цель работы — определить, каких исследований не хватает для условий Бенина, и предложить методические подходы к созданию инструмента поддержки принятия решений. Такой инструмент должен учитывать различия между хозяйствами, поправки на конкретные условия полей и поэтапный характер механизации.

Методология. Исследование опирается на доклады, практические руководства, материалы переписей населения, рабочие документы ФАО и публикации журнала «Экономика сельского хозяйства России». Сравнение моделей проводилось с учётом реальных агроклиматических условий полей Бенина. Эти условия выступили своего рода проверкой того, насколько исходные теоретические положения применимы на практике.

Результаты. На основе проведённого анализа предложена модель, адаптированная к условиям Бенина. Она представляет собой гибридную модель и включает несколько элементов. Во-первых, это классификация фермерских хозяйств по размеру (малые, средние, крупные) и по расположению (южные, центральные, северные). Во-вторых, для хозяйств первого типа (небольшие площади) приоритет отдаётся аренде техники; при этом рассчитывается оптимальный размер парка для оказания услуг. В-третьих, для хозяйств второго типа (средние площади) предлагается модель линейного программирования с корректирующими коэффициентами. В-четвёртых, в модель включён критерий, учитывающий потери из-за нарушения агротехнических сроков. Это особенно важно для хлопка — основной товарной культуры Бенина, поскольку потери урожая здесь могут быть очень ощутимыми для доходов хозяйств.

Заключение. В статье системно оценены три методологических направления: линейное программирование, имитационное моделирование и экспертные системы. Среди факторов, определяющих реальную эффективность тракторной техники, особое место занимает раздробленность земельных участков. Именно она наиболее отрицательно сказывается на производительности машинно-тракторных агрегатов в полевых условиях. Практическая значимость предложенной модели подтверждается результатами исследования Адугны и коллег в Эфиопии: по их данным, 90% мелких фермеров одобрили подобные услуги. Это показывает, что арендные схемы действительно востребованы и могут помочь людям, работающим на земле.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, парк машин, оптимизация, модели, расчет, моделирование, программирование, анализ, республика Бенин

Для цитирования: Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Косов П.Н. Анализ моделей оптимизации парка сельскохозяйственной техники // Вестник Рязанского государственного агроинженерного университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.82-89 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.41.45.011>



ANALYSIS OF MODELS FOR OPTIMIZING THE FLEET OF AGRICULTURAL MACHINERY

Otari N. Didmanidze¹, Ekaterina P. Parlyuk¹✉, Pavel N. Kosov¹¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉ kparlyuk@yandex.ru.

Abstract.

Problem and purpose. This article reviews the main methods for optimizing the composition of machinery fleets proposed by Russian and international researchers. Particular attention is paid to the suitability of these methods for small-scale farms in West Africa. Classical models designed for large, specialized farms fail to adequately account for the realities of West African agriculture. Approaches based on equipment rental and contract-based mechanization services appear more promising. The study aims to identify research gaps relevant to the context of Benin and to propose methodological approaches for developing a decision-support tool. Such a tool must account for farm-level differences, adjustments for specific field conditions, and the phased nature of mechanization.

Methodology. The study draws on reports, practical guidelines, census data, FAO working papers, and publications from the journal *Agricultural Economics of Russia*. The models were compared against the actual agro-climatic conditions of fields in Benin; these conditions served as a test of the practical applicability of the initial theoretical premises.

Results. Based on the analysis conducted, a model adapted to conditions in Benin has been proposed. This is a hybrid model comprising several elements. First, it classifies farms by size (small, medium, large) and location (southern, central, northern). Second, for small farms priority is given to machinery rental, with calculations determining the optimal fleet size for service provision. Third, for medium-scale farms a linear programming model incorporating adjustment coefficients is proposed. The model includes a criterion that accounts for losses resulting from missed agrotechnical deadlines. This is particularly important for cotton—Benin's primary cash crop—as yield losses in this context can significantly impact farm income.

Conclusion. The article provides a systematic assessment of three methodological approaches: linear programming, simulation modeling, and expert systems. Among the factors determining the actual efficiency of tractor machinery, land fragmentation plays a particularly significant role. It affects the productivity of tractor-implement units in the field. The practical value of the proposed model is corroborated by research conducted by Adugna and his colleagues in Ethiopia, which found that 90% of smallholder farmers approved of such services. This demonstrates that rental schemes are in demand and can assist those working the land.

Key words: agricultural machinery, fleet of machines, optimization, models, calculation, modeling, programming, analysis, Republic of Benin

For citation: Didmanidze O.N., Parlyuk E.P., Kosov P.N. Analysis of models for optimizing the fleet of agricultural machinery // *Ryazan Agrotech University Bulletin*. 2026, T.18, No. 3, P. 82-89 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.41.45.011>

Введение

Расчет оптимального состава машинно-тракторного парка (МТП) какого-либо объекта в сельском хозяйстве возможен ввиду многообразия машин и агрегатов (имеющих несовпадающие цену, производительность, расход топлива и др.), которые могут выполнить необходимые операции для возделывания сельскохозяйственных культур, выполнения других работ. Для этого применяют различные методики.

Оптимальный МТП сельскохозяйственной организации можно рассчитать на основе графика машиноиспользования, с помощью многофакторного регрессионного анализа, нормативов, но они дают приближенные результаты, более точные рассчитываются с помощью специальных программ ЭВМ. Необходимым исходным условием для расчетов является наличие заранее заданных объемов работ (для чего необходимы данные о посевных площадях, технологии возделывания и уборке сельскохозяйственных культур, планируе-

мой урожайности по культурам, нормам внесения минеральных и органических удобрений, группам норм выработки и др.), технико-экономических показателях отдельных машин и агрегатов (цена, производительность, нормы выработки, расхода топлива, нормы отчислений на ремонт и техническое обслуживание и др.). То есть для решения задачи для конкретного объекта должен быть подготовлен определенный информационный массив. Определение оптимального парка проводилось по различным критериям (минимум приведенных затрат, эксплуатационных затрат, капитальных вложений, энергомашин, обслуживающего персонала), причем в зависимости от выбранного критерия состав оптимально парка отличался друг от друга.

Определение оптимального состава машинно-тракторного парка для отдельных подразделений и хозяйства в целом представляет собой весьма непростую задачу, обусловленную рядом объективных факторов. Определяющим здесь оказыва-



ется сезонность. Агротехнические работы сжаты в короткие интервалы, и в эти промежутки одна и та же техника нужна сразу на нескольких операциях. За один сельскохозяйственный год хозяйство проходит через полевые работы, которые между собой почти не пересекаются технологически, и под каждую требуется собственный набор машин и прицепных агрегатов. Отсюда следует, что состав парка и его количественные показатели диктуются не абстрактными нормативами, а тем перечнем технологических процессов, который реально выполняет конкретное подразделение. При проектировании структуры интегрированных систем приходится держаться ряда базовых требований. Ведь без их соблюдения производственный процесс рассыпается на несогласованные операции, и весь выигрыш от оптимизации парка теряется.

1. Количество единиц техники каждой категории обязано в полной мере обеспечивать своевременное и качественное проведение всего комплекса агрономических мероприятий в рамках установленных технологических регламентов.

2. Формирование машинно-тракторного парка предполагает включение исключительно тех классов техники, эксплуатационные характеристики которых гарантируют неукоснительное соблюдение агрономических норм при проведении полевых операций, обеспечивают получение стабильно высоких показателей урожайности, а также минимизацию потерь в ходе уборочной кампании.

3. Подбор структуры машинно-тракторного парка надлежит осуществлять исходя из принципа экономической целесообразности, при котором совокупные издержки на производство всего объема запланированной растениеводческой продукции стремятся к минимально возможным значениям.

4. Технические характеристики машин, включенных в состав парка, должны обеспечивать достаточный уровень производительности и функциональной гибкости, позволяющий рационально распределять нагрузки между механизаторами на протяжении всего производственного цикла. При этом принципиально важно соблюдение агротехнических сроков проведения полевых работ при равномерной и непрерывной занятости операторов машин в течение года.

5. Расширение и модернизация машинно-тракторного парка подразделения должны осуществляться с ориентацией на максимально эффективное задействование уже находящейся в эксплуатации техники, тогда как объем привлекаемых дополнительных капиталовложений следует минимизировать за счёт взвешенного подхода к формированию новых статей расходов.

6. При комплектовании машинно-тракторного парка необходимо придерживаться принципа типажной унификации: количество единиц техники различных марок, относящихся к одной функциональной категории, должно быть сведено к минимально возможному числу, что позволит оптимизировать техническое обслуживание и снизить эксплуатационные издержки.

Проблема определения рационального состава машинно-тракторного парка в сельскохозяй-

ственном производстве имеет глубокие научные корни. Математический аппарат для её решения начал формироваться ещё в советский период: уже в 1970-е годы исследовательские школы СССР, Соединённых Штатов и ряда европейских стран независимо друг от друга разрабатывали формализованные модели, ориентированные на достижение минимума совокупных затрат при выполнении механизированных полевых работ в агротехнически допустимые сроки – на это, в частности, указывают Зангиев и Скороходов (2020).

Трухачёв с соавторами (2022) собрали и упорядочили национальный опыт, и это дало набор рабочих методик, которые неплохо ложатся на крупные равнинные территории с зерновой специализацией. Проблема начинается там, где эти решения (и технику, и саму методику расчёта) пробуют переставить в другую экономическую среду. В литературе на это указывали не раз. Ведь стандартизированные модели почти не видят различий в почвенном покрове, слабо реагируют на местный климатический режим и вовсе игнорируют социально-экономическую обстановку конкретного района. Из-за этого их прогнозы расходятся с практикой, и прикладная польза от таких моделей за пределами исходного региона оказывается сомнительной.

Целью работы выступает разбор основных подходов к формированию оптимального состава машинно-тракторного парка и проверка, насколько они вообще работают в мелкотоварном сельском хозяйстве. Основной материал взят по малым фермерским хозяйствам Западной Африки, прежде всего Бенина, где размеры угодий и структура затрат сильно отличаются от условий, под которые эти подходы создавались.

Материалы и методы исследования

В работе в качестве литературы были использованы различные доклады, практикумы, результаты переписи, рабочие документы ФАО, а также статьи из журнала «Экономика сельского хозяйства России».

Реальные агроклиматические условия полей Бенина служат своеобразным «пробным камнем», относительно которого верифицируются фундаментальные предпосылки, заложенные в основу каждой из рассматриваемых моделей. Иными словами, сопоставительный подход предполагает прежде всего экспликацию тех ограничивающих допущений – будь то предположение о линейном характере исследуемых зависимостей, требование к минимально допустимому размеру земельного участка или постулат о стационарности климатических параметров, – без соблюдения которых корректное применение той или иной модели оказывается под вопросом.

Результаты исследований и их обсуждение

В научной литературе принято разграничивать несколько методологических подходов к данной проблематике, которые, несмотря на взаимодополняющий характер, опираются на принципиально различные теоретические допущения. Среди традиционных инструментов формирования оптимального состава машинно-тракторного парка



особое место занимает аппарат линейного программирования.

Ефремов и соавторы (2023) показали, что такой подход даёт отдачу на малых и средних предприятиях России с площадью от 100 до 500 га. По их расчётам, фактическая структура парка расходуется с теоретически оптимальной вплоть до 30 % по экономической эффективности. То есть треть потенциальной выгоды хозяйство просто теряет на неудачном наборе машин. Имитационное моделирование действительно позволяет учесть разброс реальных производственных условий, но у него есть два неприятных свойства. Ведь оно требует серьёзных вычислительных ресурсов и не гарантирует выхода на глобальный оптимум. Второе для задач оптимизации парка существеннее первого, поскольку решение, найденное моделью, может оказаться лишь локально приемлемым, а насколько оно далеко от действительно лучшего варианта, из самой модели не следует.

Из всех подходов к моделированию сельскохозяйственных процессов проще всего в освоении оказываются системы, построенные на экспертных знаниях и наборе формализованных правил. Работать с ними может человек без подготовки в вычислительных методах, и этим объясняется их популярность у практиков. Расплата за доступ-

ность довольно ощутимая. Ведь точность расчётов держится на низком уровне, а перенести готовое решение на другое хозяйство или другой регион обычно не удаётся. Ведь правила оказываются привязаны к тем условиям, для которых их когда-то сформулировали.

Если говорить об оптимизации машинно-тракторного парка, то расчёт держится на двух показателях, которые разбирали Соцков с соавторами (2020), а позже детальнее проработали Ефремов и соавторы (2023).

Первым выступает эффективная часовая производительность машины, $P_{ef} = P_{th} \times T$, где P_{th} берётся из технических характеристик производителя, а коэффициент T показывает, какую долю паспортной производительности машина реально выдаёт с поправкой на технологические простои и холостые перегоны.

Вторым выступает общий объём работ, который измеряют в гектарах либо в машино-часах; он зависит и от обрабатываемой площади, и от числа операций, прописанных агротехническим стандартом. Показатели связаны между собой. Ведь пока не посчитан объём работ, нет смысла говорить о требуемой производительности парка.

Преимущества и недостатки методов оптимизации машинных парков показаны в таблице.

Таблица – Преимущества и недостатки некоторых методов оптимизации машинных парков

№пп	Метод	Недостатки	Преимущество
1	Метод линейного планирования	Реальные производственные системы демонстрируют выраженную нелинейную динамику, тогда как допущение о линейном характере зависимостей игнорирует целый ряд существенных явлений – в частности, эффекты масштабирования и непропорциональные потери времени на простои, – что неизбежно снижает адекватность построенных моделей.	Задача сводится к нахождению такого состава машинно-тракторного парка, при котором суммарные издержки достигают своего минимального значения – при условии соблюдения системы линейных ограничений, включающих требования к минимально допустимым объёмам выполняемых работ, агротехническим срокам проведения операций, фактической доступности техники, а также предельно допустимому размеру финансовых затрат.
2	Моделирование	Отсутствие гарантий достижения глобального оптимума сочетается с существенными требованиями к объёму задействуемых вычислительных мощностей.	Манипулирование стохастическими переменными лежит в основе данного подхода, предполагающего построение вероятностных сценариев трудовой занятости применительно к произвольно выбранному временному горизонту – отдельному году либо последовательности нескольких лет.
3	Модели, основанные на правилах, и экспертные системы	Такие модели менее точные и являются сложными для обобщения.	Применение подобных моделей не представляет значительной сложности на практике, поскольку в их основу заложены агрономические закономерности, формализованные в виде системы правил.



Ряд актуальных научных работ свидетельствует о существенных ограничениях при попытках перенести данные модели на реалии конкретных национальных контекстов. Фундаментальная проблема состоит в том, что базовые допущения классических моделей ориентированы на крупные земельные массивы – как правило, превышающие 20 га, – в условиях которых затраты времени на холостые переезды между делянками пренебрежимо малы. Между тем аграрная структура многих развивающихся стран кардинально расходится с этим допущением: так, в Бенине типичный земельный участок занимает лишь от 0,5 до 2 га согласно данным национальной сельскохозяйственной переписи (RNA, 2021). Показательны в этом отношении результаты Хинну и соавторов (2022), зафиксировавших, что в хлопководческих районах севера Бенина до трети полезного рабочего времени трактора поглощается непроизводительными перемещениями с участка на участок. Примечательно, однако, что соответствующий корректирующий коэффициент по-прежнему остаётся за рамками стандартного модельного инструментария, что неизбежно снижает точность расчётов применительно к мелкоконтурным агроландшафтам.

Российские модели обычно строятся под монокультуру (пшеницу, кукурузу, подсолнечник) либо под несложный севооборот из двух-трёх позиций. Хозяйство в Бенине выглядит иначе. Ведь на одной и той же площади там одновременно идут четырнадцать культур, среди них кукуруза, хлопчатник, ямс, маниок, бобовые и арахис. Каждая требует своей обработки почвы (глубокого рыхления, предпосевной подготовки, мульчирования), и сроки этих операций накладываются друг на друга. Поэтому укрупнённые модели, рассчитанные на одну ведущую культуру, здесь дают заметную погрешность. Ведь они не учитывают, что одна и та же техника в один и тот же период нужна сразу на нескольких полях с разными агротехническими требованиями.

Ефремов и соавторы (2023) заложили в целевую функцию не только прямые затраты. У них есть ещё штраф за просрочку работ, поскольку выход за оптимальные агротехнические сроки на прямую бьёт по урожаю.

Модели оптимизации обычно исходят из того, что технику хозяйство либо покупает само, либо берёт по типовому лизингу. В Бенине доступ к машинам организован совсем иначе. Там сложился целый набор схем. Здесь технику передают во временное пользование, соседние хозяйства работают на одном тракторе по договорённости, часть машин приобретается через кооперативы вроде CUMA, а отдельно существует то, что называют «агроарендой». Это услуга под конкретную операцию с оплатой за гектар. Хинну и соавторы (2022) показали, почему это существенно. Ведь при распределённом владении мелкий производитель получает доступ к механизации при заметно меньших расходах, чем если бы покупал машину в одиночку. Отсюда следует, что расчётную схему приходится переделывать. Ведь набор вариантов

доступа к технике в ней должен быть заложен изначально, иначе оптимум будет считаться для условий, которых в Бенине просто нет.

Отдельно упомяну работы, где инструментарий с самого начала делали под африканские условия. Группа Хуми (2021) по заказу ФАО разработала несколько бизнес-моделей для организации прокатных сервисов сельхозтехники в странах южнее Сахары. Задача там поставлена по-другому. Считается оптимальная мощность сервисного центра, который обслуживает несколько сотен мелких хозяйств, а состав парка отдельного предприятия остаётся за рамками расчёта. Такой сдвиг оптики понятен. Ведь при площадях в один-два гектара своя техника хозяйству экономически недоступна, и вопрос переносится на уровень поставщика услуг.

Даум (2022) предложил ступенчатую модель механизации, где уровни техники выстроены в определённой последовательности. Сначала ручной труд и тяловые животные, дальше одноосные машины, лёгкая колёсная техника и уже потом тяжёлые тракторные агрегаты. Польза такой схемы в том, что она привязывает форму хозяйства (его площадь, специализацию) к той технике, которую оно способно содержать и загрузить. Фактически модель работает как фильтр. Ведь хозяйство, которое ещё не вышло на нужный уровень, не покупает дорогую машину, которая потом простоит без дела и вытянет деньги на обслуживание.

Вердоу и соавторы (2021) пошли другим путём и собрали методику цифрового двойника под задачи точного земледелия. Если применить её к машинно-тракторному парку, появляется возможность прогонять решения до того, как они приняты (докупать ли технику, менять ли производственный план), и сразу можно смотреть, что будет с производительностью и затратами. Для Бенина это имеет смысл прежде всего на хлопке, где цена ошибки в сроках высокая, а рентабельность позволяет окупить вложения в такое моделирование.

Между моделями оптимизации, которые создавались в развитых странах, и тем, с чем имеет дело мелкий фермер в Западной Африке, расхождение довольно серьёзное. Первые рассчитаны на крупные хозяйства с большими однородными полями, стабильным снабжением топливом и запчастями и доступной сервисной базой. Ни одно из этих условий в Бенине по умолчанию не выполняется, и именно поэтому прямой перенос готовых моделей даёт результат, который на практике не используется.

Линейное программирование остаётся мощным инструментом долгосрочного планирования, но для учета изменчивости климата его необходимо сочетать с моделированием. Модели, основанные на правилах, проще в реализации и понимании для неспециалистов.

Без введения соответствующего коэффициента любая модель будет переоценивать фактическую производительность среднего трактора в Бенине как минимум на 30 %. Эта ошибка может привести к рекомендации недостаточного парка техники, неспособного соответствовать агротех-



ническим условиям, или, наоборот, к чрезмерному парку, который влечет за собой избыточные постоянные затраты.

Бизнес-модели для услуг механизации (Houmy et al., 2021) представляют собой существенный методологический сдвиг. Вместо оптимизации парка техники на отдельном фермерском хозяйстве акцент делается на оптимизации охвата сервисным обслуживанием на всей территории через сервисный центр. Такой подход гораздо более реалистичен для очень небольших ферм (< 3 га), где покупка отдельных тракторов никогда не приносит прибыли.

Пример «Кооператива сельскохозяйственной техники Бенина», упомянутого Хоуми и др. (2021), который объединяет 82 сельскохозяйственных кооператива и 1465 фермеров (более двух третей из которых – женщины), показывает путь вперед. Эфиопское исследование Адугны и др. (2023) подтверждает огромный спрос на этот вид услуг: 90 % мелких фермеров в Эфиопии были готовы платить за услуги по вспашке.

Хозяйства, которые торопятся с механизацией, нередко проскакивают промежуточные ступени. Ведь сегодня мотыга и тягловые животные, а завтра трактор мощностью свыше 100 л. с. Деньги на такой переход обычно тратятся впустую. Ведь машина не получает нужной загрузки, а обслуживать её всё равно приходится. Пятиступенчатая схема Даума (2022) как раз и нужна, чтобы эту управленческую ошибку отсеять на этапе планирования.

Из разобранного материала складывается гибридная модель под условия Бенина. Единый расчёт для всей страны смысла не имеет, поэтому хозяйства разводятся по типам (малые, средние и крупные, отдельно юг, центр и север). Ведь климат и структура посевов там разные. Для хозяйств первого типа, с небольшими площадями, основной вариант – агроаренда, и тогда считать нужно оптимальный размер сервисного парка, а не собственный набор машин на каждое хозяйство. Средние хозяйства удобнее описывать линейным программированием, но с поправочными коэффициентами на перебои со снабжением и доступность ремонта. Главным критерием в целевой функции остаются штрафы за нарушение сроков. Ведь потери по хлопку, который для Бенина – сновная товарная культура, обходятся дороже, чем экономия на технике.

Заключение

Условия западноафриканского земледелия, в частности, бенинского, заставляют пересматривать привычные подходы к оптимизации машинно-тракторного парка. Ведь они писались под другой масштаб хозяйств. В обзоре разобраны три методических линии. Это линейное программирование, имитационное моделирование и экспертные системы. Каждая рассматривалась с одной позиции, насколько она пригодна для расчёта технического оснащения мелких хозяйств региона. Ниже собрано то, что удалось из этого получить.

Из всего набора факторов, которые сбивают фактическую производительность тракторной техники, фрагментация угодий бьёт значительно

всего. Мелкие разбросанные участки означают короткие гоны, постоянные развороты и переезды между полями, и заявленная в паспорте выработка агрегата на такой конфигурации просто не достигается. Пока в расчёт не заведены поправочные коэффициенты на размер и разбросанность участков, модель будет считать некую идеальную ситуацию, которой в Бенине нигде нет.

У моделей, собранных в индустриальных странах, теория проработана хорошо, но держится она на допущениях. Это большие поля, чёткие сроки работ, монокультура, налаженный сервис. В Бенине почти ничего из этого не выполняется. Если взять такой инструмент и применить его напрямую, агротехнические рекомендации выйдут смещёнными, а хозяйство потратит деньги на технику, которая ему не нужна в таком количестве.

Для планирования технического развития схема поэтапного внедрения Даума (2022) удобна тем, что задаёт порядок вложений. Сначала то, что хозяйство способно загрузить и обслужить, потом следующая ступень. Риск резкого технологического скачка при этом снижается, поскольку каждая покупка привязана к достигнутому уровню, а не к желаемому.

Отдельно интересна агроаренда. Это механизм, который разбирают Хоуми и соавторы (2021). Хозяйство, у которого нет и не появится денег на собственный трактор, получает доступ к технике через услугу, а владелец машины набирает загрузку за счёт нескольких заказчиков. Собственно, весь выигрыш здесь и возникает из объединения спроса. Ведь по отдельности ни одно из этих хозяйств машину не окупит. В Эфиопии Адугна и соавторы (2023) зафиксировали готовность пользоваться такими услугами у 90 % опрошенных фермеров, то есть спрос на аренду там уже сформировался, а не создаётся искусственно.

Список источников

1. Альт В.В., Исакова С.П. Планирование производства продукции растениеводства с применением цифровых технологий. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022;16(3):12-19. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19.
2. Гаджиев П.И., Кулаков К. В., Рамазанова Г. Г. и др. Математическая модель формирования рационального парка машин для сельскохозяйственных работ. *Вестник Российского государственного аграрного университета*. 2022;41(46):99-103.
3. Дидманидзе О. Н., Габитов И. И., Мударисов С. Г., Лавров А. В. Мониторинг состояния и определение технологической потребности в тракторах для регионального АПК (на примере Республики Башкортостан). *Техника и оборудование для села*. 2025;5(335):14-19. DOI 10.33267/2072-9642-2025-5-14-19.
4. Дидманидзе О. Н., Пуляев Н. Н., Гузалов А. С. Формирование подхода к созданию цифрового двойника трактора сельскохозяйственного назначения. *Известия Международной академии аграрного образования*. 2022;61:33-37.
5. Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Пуляев Н.Н., Прокофьев М. М. Перспективы развития тракторо-



строения в России. *Техника и оборудование для села*. 2023;5(311):2-7. DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7.

6. Дидманидзе О. Н., Петрик Д. Ю. Анализ эффективности внедрения технологии ультразвуковой очистки деталей сельскохозяйственной техники. *Техника и оборудование для села*. 2025;7(337):37-38. DOI 10.33267/2072-9642-2025-7-37-38.

7. Аникин Н. В., Успенский И. А., Юхин И. А. [и др.]. Транспортировка и Показатели повреждений сельскохозяйственных грузов / // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: *Наука и высшее профессиональное образование*. 2026;1(85):566-581. DOI 10.32786/2071-9485-2026-01-59.

8. Карташов А. А., Успенский И. А., Юхин И. А. [и др.]. Обеспечение запасными частями станций технического обслуживания мобильной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: *Наука и высшее профессиональное образование*. 2025;6(84):524-533. DOI 10.32786/2071-9485-2025-06-57.

9. Карелина М. Ю., Ризаева Ю. Н., Баев В. В. [и др.]. Повышение эффективности работы транспортно-технологической системы. *Транспортное дело России*. 2024;2:192-196.

10. Дидманидзе О. Н., Парлюк Е. П., Новиченко А. И. Формирование рациональных структур технологических систем в природообустройстве с помощью агентного имитационного моделирования. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2026;27(2):504-517. DOI 10.30766/2072-9081.2026.27.2.504-517.

11. Дидманидзе О. Н., Федоткин Р. С., Крючков В. А. [и др.]. Индивидуальные гусеничные модули с изменяемым пятном контакта для сельскохозяйственных тракторов. *Техника и оборудование для села*. 2026;2(344):22-26. DOI 10.33267/2072-9642-2026-2-22-26.

12. Дидманидзе О. Н., Бугаев А. В., Макаров А. А. Физические основы рыхления почвы лапой культиватора. *Техника и оборудование для села*. 2025;12(342):16-18. DOI 10.33267/2072-9642-2025-12-16-18.

13. Дидманидзе О. Н., Федоткин Р. С., Крючков В. А. [и др.]. Испытания съемной гусеничной ходовой системы сельскохозяйственного трактора класса 0,9. *Аграрный научный журнал*. 2025;8:111-120. DOI 10.28983/asj.y2025i8pp111-120.

14. Успенский И. А., Мурог И. А., Юхин И. А. [и др.]. Цифровая технология расчёта гарантированной вероятности безотказной работы запасных частей с предиктивной оценкой их надёжности на основе модели Пуассона. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: *Наука и высшее профессиональное образование*. 2026;3(87):571-579. DOI 10.32786/2071-9485-2026-03-63.

15. Данилов С. И., Алленов Д. Г., Успенский И. А. [и др.]. Сравнительный анализ нейросетевых моделей для оценки остаточного ресурса подшипников качения на основе вибрационных спектрограмм быстрой трансформации Фурье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: *Наука и высшее профессиональное образование*. 2026;2(86): 609-617. DOI 10.32786/2071-9485-2026-02-67.

16. Данилов С. И., Алленов Д. Г., Успенский И. А. [и др.]. Экспериментальное исследование вибродиагностики подшипников на основе спектрограмм быстрой трансформации Фурье. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2026;18(2):94-100. DOI 10.36508/RSATU.2026.18.28.012.

17. Дидманидзе О. Н., Федоткин Р. С., Крючков В. А. Испытания электрического транспортно-технологического средства сельскохозяйственного назначения по оценке потребительских свойств. *Проблемы машиностроения и автоматизации*. 2024;4:4-15. DOI 10.52261/02346206_2024_4_4.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Alt V.V., Isakova S.P. Planning crop production with the use of digital technologies. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022;16(3):12-19. (in Russ.). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19.
2. Gadzhiev P.I., Kulakov K.V., Ramazanov G.G. [et al.]. Mathematical model of the formation of a rational fleet of machines for agricultural work. *Herald of Russian State Agrarian Correspondence University*. 2022;41(46):99-103. (in Russ.).
3. Didmanidze O.N., Gabitov I.I., Mudarisov S.G., Lavrov A.V. Monitoring the status and determining the process requirements for tractors for the regional agro-industrial complex (using the republic of bashkortostan as an example). *Machinery and equipment for rural area*. 2025;5(335):14-19. (in Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2025-5-14-19.
4. Didmanidze O.N., Pulyaev N.N., Guzalov A.S. Forming an approach to creating a digital twin of agricultural tractor. *Izvestiâ Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniâ*. 2022;61:33-37. (in Russ.).
5. Didmanidze O.N., Parlyuk E.P., Pulyaev N.N., Prokofiev M.M. Prospects for the development of tractor construction in Russia. *Machinery and equipment for rural area*. 2023;5(311):2-7. (in Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7.
6. Didmanidze O.N., Petrik D.YU. Analysis of the efficiency of implemented ultrasonic cleaning technology for agricultural machinery parts. *Machinery and equipment for rural area*. 2025;7(337):37-38. (in Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2025-7-37-38.
7. Anikin N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A. [et al.]. The transportation and the damage indicators of the



agricultural goods. *Proc. of the Lower Volga AgroUniversity Comp.* 2026;1(85):566-581. (in Russ.). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-59.

8. Kartashov A. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A. [et al.]. The provision of spare parts for the mobile equipment service stations. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025;6(84):524-533. (in Russ.). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-57.

9. Karelina M., Rizaeva Y., Baev V. [et al.]. Increasing the efficiency of the transportation and technological system. *Transport business in Russia.* 2024;2:192-196. (In Russ.).

10. Didmanidze O. N., Parlyuk E. P., Novichenko A. I. Formation of rational structures of technological systems in environmental management using agent-based simulation modeling. *Agricultural Science Euro-North-East.* 2026;27(2):504–517. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2026.27.2.504-517

11. Didmanidze O.N., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A. [et al.]. Individual track modules with variable contact patch for the agricultural tractors. *Machinery and equipment for rural area.* 2026;2(344):22-26. (In Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2026-2-22-26.

12. Didmanidze O.N., Bugaev A.V., Makarov A.A. Physical principles of soil loosening with a cultivator blade/ *Machinery and equipment for rural area.* 2025;12(342):16-18. (In Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2025-12-16-18.

13. Didmanidze O. N., Fedotkin R. S., Kryuchkov V. A. [et al.]. Testing of the removable caterpillar undercarriage system of a class 0.9 agricultural tractor. *Agrarian Scientific Journal.* 2025;8:111-120. (In Russ.). DOI 10.28983/asj.y2025i8pp111-120.

14. Uspensky I. A., Murog I. A., Yukhin I. A. [et al.]. The digital technology for the guaranteed probability of the spare parts' failure-free operation calculating with the predictive assessment of their reliability based on the Poisson model. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026;3(87):571-579. (In Russ.). DOI 10.32786/2071-9485-2026-03-63.

15. Danilov S. I., Allenov D. G., Uspensky I. A. [et al.]. Comparative analysis of neural network models for estimating the residual life of rolling bearings based on vibration spectrograms of fast Fourier transformation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026;2(86): 609-617. (In Russ.). DOI 10.32786/2071-9485-2026-02-67.

16. Danilov S.I., Allenov D.G., Uspensky I.A. [et al.]. Experimental study of vibration diagnostics of bearings based on fast Fourier transformation spectrograms. *Ryazan Agrotech University Bulletin.* 2026;18(2):94-100. (In Russ.). DOI 10.36508/RSATU.2026.18.28.012.

17. Didmanidze O.N., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A. Testing of electric multi-purpose agricultural unit for assessing consumer properties. *Engineering & automation problems.* 2024;4:4-15. (in Russ.). DOI 10.52261/02346206_2024_4_4.

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

Дидманидзе Отари Назирович д-р техн. наук, профессор, академик РАН, зав. кафедрой тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия, didmanidze@rgau-msha.ru.

Парлюк Екатерина Петровна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия, kparlyuk@yandex.ru.

Косов Павел Николаевич, канд. экон. наук, докторант кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия

Author Information

Otari N. Didmanidze, D.Sc. (Engineering), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia Didmanidze@rgau-msha.ru

Ekaterina P. Parlyuk, D.Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia kparlyuk@yandex.ru.

Pavel N. Kosov, Cand.Sc. (Economics), Doctoral Candidate of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Статья поступила в редакцию 6.08.2026; одобрена после рецензирования 3.09.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 6.08.2026; approved after reviewing 3.09.2026; accepted for publication 16.09.2026



Вестник РГАТУ, 2026, т.18, №3, с.90-95
Vestnik RGATU, 2026, Vol.18, №3, pp 90-95

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 631

DOI: 10.36508/RSATU.2026.10.91.012

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМА КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Отари Назирович Дидманидзе¹, Екатерина Петровна Парлюк¹✉, Павел Николаевич Косов¹

¹ ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия

✉ kparlyuk@yandex.ru.

Аннотация

Проблема и цель. Выбор состава машинно-тракторных агрегатов для обработки почвы — комплексная задача, требует учёта природно-климатических, производственных и экономических условий. В Бенине, где механизация находится на начальном этапе, а основная часть механической энергии используется для вспашки, ошибки в выборе техники особенно дорого обходятся хозяйствам. Цель работы — разработать формализованный алгоритм подбора рационального состава почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов для трёх агроэкологических зон Бенина и разных категорий хозяйств.

Методология. В основе рассматриваемого алгоритма лежит балльная оценка по восьми параметрам: агроэкологическая зона, площадь хозяйства, структура посевов, тип почвы, влагообеспеченность, продолжительность агротехнического срока, финансовые ограничения и форма владения техникой. Интегральный балл рассчитывается как сумма взвешенных частных показателей; веса определены экспертно и нормированы. Основным критерий выбора — максимальный итоговый балл. Если разница между вариантами не превышает 5%, предпочтение отдаётся варианту с меньшей удельной стоимостью обработки 1 га.

Результаты. Для южной влажной зоны с мелкими и раздробленными участками рекомендуются мотоблоки в сочетании с маломощными тракторами 45–50 л.с. и облегчёнными навесными орудиями. Для центральной переходной зоны — универсальные тракторы 55–65 л.с. с плугом, бороной и культиватором. Для северной зоны с жёсткими агротехническими сроками и преобладанием хлопчатника — энергонасыщенные тракторы 80–110 л.с., преимущественно при кооперативном или сервисном использовании.

Заключение. Предложенный алгоритм заменяет интуитивный выбор техники формализованной многокритериальной оценкой и повышает обоснованность решений. Он реализуется в Excel или простом веб-приложении и может быть настроен для других регионов. Апробация в трёх зонах Бенина показала снижение удельных затрат на 15–25% по сравнению с унифицированными решениями и улучшение соблюдения агротехнических сроков.

Ключевые слова: сельскохозяйственная механизация, почвообрабатывающий агрегат, подбор тракторов, методика выбора, агроэкологическое районирование, Республика Бенин, цифровая поддержка решений

Для цитирования: Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Косов П.Н. Разработка и апробация алгоритма комплектования машинно-тракторных агрегатов для обработки почвы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С. 90-95 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.10.91.012](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.10.91.012)



DEVELOPMENT AND TESTING OF AN ALGORITHM FOR THE SELECTION OF MACHINE-TRACTOR UNITS FOR SOIL TILLAGE

Otari N. Didmanidze¹, Ekaterina P. Parlyuk¹✉, Pavel N. Kosov¹¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉ kparlyuk@yandex.ru

Abstract

Problem and purpose. Selecting the composition of tractor-implement units for tillage is a complex task that requires consideration of natural-climatic, operational, and economic conditions. In Benin, where mechanization is in its early stages and the bulk of mechanical energy is used for plowing, errors in machinery selection are particularly costly for farms. The objective of this study is to develop a formalized algorithm for selecting an optimal set of tillage tractor-implement units tailored to Benin's three agro-ecological zones and various farm categories.

Methodology. The proposed algorithm is based on a scoring system using eight parameters: agro-ecological zone, farm size, crop structure, soil type, moisture availability, duration of the agrotechnical window, financial constraints, and machinery ownership model. An aggregate score is calculated as the sum of weighted individual indicators; the weights were determined by experts and normalized. The primary selection criterion is the highest total score. If the difference between options does not exceed 5%, preference is given to the option with the lower specific cost of tillage per hectare.

Results. For the humid southern zone, characterized by small and fragmented plots, the study recommends walk-behind tractors combined with low-power tractors (45–50 hp) and lightweight mounted implements. For the central transitional zone, general-purpose tractors (55–65 hp) equipped with a plow, harrow, and cultivator are recommended. For the northern zone—characterized by tight agrotechnical windows and a predominance of cotton—high-power tractors (80–110 hp) are recommended, primarily for use within cooperative or service-based models.

Conclusion. The proposed algorithm replaces the intuitive selection of techniques with a formalized multi-criteria assessment, thereby enhancing the soundness of decisions. It can be implemented in Excel or a simple web application and adapted for other regions. Pilot testing in three zones of Benin demonstrated a 15–25% reduction in unit costs compared to standardized solutions, as well as improved adherence to agrotechnical schedules.

Key words: Agricultural mechanization, tillage unit, tractor selection, selection methodology, agro-ecological zoning, the Republic of Benin, digital decision support.

For citation: Didmanidze O.N., Parlyuk E.P., Kosov P.N. Development and testing of an algorithm for the selection of machine-tractor units for soil tillage // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P.90-95 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.10.91.012>

Введение

В современных агротехнологиях от того, насколько рационально используется машинно-тракторный парк, напрямую зависят и себестоимость продукции, и состояние почвенного плодородия. Горюче-смазочные материалы дорожают, ассортимент почвообрабатывающих орудий растёт, агротехнические регламенты ужесточаются, системы точного земледелия постепенно входят в практику. В таких условиях научно обоснованный выбор техники перестаёт быть «желательным фактором» и становится обязательным условием устойчивого производства.

Под комплектованием МТА традиционно понимают подбор трактора, сельхозмашин и эксплуатационных режимов, которые обеспечивают заданное качество работ при минимальных ресурсных затратах [1]. Но на практике решение часто принимается под влиянием совсем других обстоятельств: что есть на рынке, что субсидируется, что «у соседа работает». Системный анализ потребностей конкретного хозяйства при этом если и делается, то редко. Результат предсказуем:

либо мощность избыточна (недогрузка, перерасход топлива, уплотнение почвы), либо её не хватает (срыв оптимальных сроков, недобор урожая).

В тропических странах эта проблема стоит особенно остро. Почвенно-климатические условия там сильно варьируют даже на небольшой территории, а инфраструктура и квалификация механизаторов часто ограничены. По данным [7, 8], до 70 % механической энергии уходит только на вспашку. Остальное – вручную.

Зоны при этом разные. Юг страны – влажные аллювиальные почвы, мелкие контуры полей. Центр – смешанные севообороты. Север – короткие агросроки и монокультура хлопка. Единые стандарты выбора техники для всех трёх зон заведомо неэффективны.

Мы поставили целью разработать практический алгоритм. Он должен для каждой типичной группы хозяйств Бенина определять оптимальный состав МТА. Что при этом учитывается? Агроэкологическая зона, площадь, структура посевов, тип почв, агротехническое окно, финансовые возможности и форма доступа к машинам.



Существующие методики в основном рассчитаны на умеренный климат. Наш подход строился под тропики. И, что важно для практики, он не требует специального софта. Достаточно Excel или простого веб-интерфейса.

Материалы и методы исследования

1. Площадь обрабатываемых угодий (А, га). Четыре диапазона: до 3 га, от 3 до 10, от 10 до 25 и свыше 25.

2. Агроэкологическая зона (Z) — южная, центральная или северная.

3. Тип почвы (S). По механическому составу — лёгкая, средняя, тяжёлая.

4. Структура посевного клина (C). Здесь важно соотношение пропашных, зерновых и технических культур.

5. Длительность агротехнического окна (T), рабочих дней. Разброс большой — от 10 до 30.

6. Влагообеспеченность (H). Три градации: избыточная, достаточная, недостаточная.

7. Расходы на приобретение или временное пользование техникой (B).

8. Характер владения и эксплуатации (F): единоличное, на условиях найма, совместное доленое, на основе аутсорсинга.

Для каждого типа хозяйства и каждой зоны формируется своё множество допустимых вариантов оснащения:

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_i\},$$

где m_i — конкретный комплект техники. В него входят трактор, орудия основной обработки и орудия предпосевной подготовки.

Интегральный балл для варианта m_i считается так:

Для каждого варианта m_i рассчитывается интегральный балл:

$$R_i = \omega_1 \cdot K_{\text{zone}} + \omega_2 \cdot K_{\text{area}} + \omega_3 \cdot K_{\text{crop}} + \omega_4 \cdot K_{\text{soil}} + \omega_5 \cdot K_{\text{time}} + \omega_6 \cdot K_{\text{budget}} + \omega_7 \cdot K_{\text{service}}$$

K_{zone} — соответствие агроэкологической зоне.

K_{area} — учитывает площадь хозяйства.

K_{crop} — соответствие структуре культур.

K_{soil} — тип почвы (лёгкая, средняя, тяжёлая).

K_{time} — соответствие длительности агротехнического окна.

K_{budget} — бюджетная допустимость.

K_{service} — форма использования техники.

ω — вес фактора.

Веса предлагаются такие.

$\omega_1 = 0,15$ — зона.

$\omega_2 = 0,15$ — площадь.

$\omega_3 = 0,20$ — состав культур.

$\omega_4 = 0,10$ — тип почвы.

$\omega_5 = 0,20$ — агротехническое окно.

$\omega_6 = 0,10$ — бюджет.

$\omega_7 = 0,10$ — сервисная доступность.

В сумме — единица.

Дальше — типология хозяйств. Тип I — малые семейные, до 5 га, преобладают на юге. Тип II — средние фермы, 5-50 га, в центре. Тип III — кооперативы и сервисные структуры, обслуживают больше 50 га, на севере.

Условно это записывается так:

$$T_{\text{type}} = f(A, C, F)$$

Для каждого типа хозяйства и каждой зоны задаётся своё допустимое множество вариантов техники:

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_i\},$$

где m_i — конкретный комплект: трактор, орудия основной обработки, орудия предпосевной подготовки.

Для каждого типа определены допустимые классы тракторов и орудий. Плюс — экономические ограничения.

Рациональным считается вариант с максимальной итоговой оценкой:

$$m = \arg \max(R_i)$$

Бывает, что два варианта идут вплотную по R_i . Тогда вступает дополнительный критерий — минимальная удельная стоимость обработки почвы на 1 га.

Схема реализована в виде Excel-таблицы. Внутри — встроены формулы и справочные листы. Это позволяет быстро перебирать альтернативы, когда меняются исходные данные.

Результаты исследований и их обсуждение

В мировой практике устойчивой механизации давно замечено: один и тот же парк техники не может одинаково продуктивно работать в разных условиях — агроэкологических, производственных, организационных [6, 8-11]. А как выбирают машины на деле? Чаще всего по одному из трёх оснований:

— что доступно на рынке;

— что идёт по снабженческо-поставочным программам и госсубсидиям;

— что делают соседи — без формализованного анализа условий хозяйства.

Такая унифицированная схема игнорирует ключевые агроэкологические контрасты. Южная влажёмкая зона Бенина — это высокий гидротермический режим, мелкоконтурная мозаика участков, доминирование кукурузы, маниока, бобовых и овощей. Центр — комбинация продовольственных и товарных севооборотов. Здесь есть смысл в многоцелевых тракторах. Север — короткие агротехнические окна и высокий удельный вес хлопчатника, кукурузы, риса и ямса. Поэтому там нужна техника повышенной мощности [6, 8]. Один и тот же парк машин может быть технологически оправдан в одной зоне и экономически неоправдан в другой.

Территория Бенина делится на два агроклиматических района — южный и северный. Условия для техники там принципиально разные. На юге избыточное увлажнение ограничивает эффективное использование крупногабаритных широкозахватных машин: двигатели работают с неполной загрузкой, а удельные затраты на единицу работы



растут. На севере картина обратная – не хватает тяговой обеспеченности и пропускной способности парка. Агросроки сдвигаются, урожайность падает. Это согласуется с исследованиями институциональных механизмов доступа к средствам механизации в Бенине: технико-экономические показатели определяются, прежде всего, локальными природно-хозяйственными условиями [7].

Климат тоже разный. Северная часть – субэкваториальный пояс, южная – экваториальный. Режим увлажнения: на севере дождливый период с июня по ноябрь, на юге – два интервала, с ноября по март и с июля по сентябрь. Годовое количество осадков достигает 1270 мм. Отдельно стоит упомянуть харматтан – сухой западноафриканский пассат, господствующий зимой.

С учётом всего этого наиболее обоснованное техническое решение – универсальные колёсные тракторы тягового класса 45-65 л.с. с плугом, дис-

ковой бороной и предпосевным культиватором. Это даёт нужную технологическую гибкость. Для более энергоёмких операций имеет смысл привлекать тракторы 80-110 л.с. Но лучше – на кооперативной основе или через специализированные агросервисные структуры: так обеспечивается высокий коэффициент использования машин этой категории [6, 7, 9].

Методика состоит из пяти стадий. На первой формируется перечень ключевых агропроизводственных факторов:

- Z – агроэкологическая зона;
- A – площадь хозяйства, га;
- C – состав культуры;
- S – тип почвы;
- H – уровень влажности;
- T – длительность агротехнического окна;
- B – бюджет;
- F – форма механизации.

Предложенный алгоритм может быть реализован в виде простой таблицы Excel.

Вариант	Класс техники	Зона	Площадь	Культуры	Стоимость	Сервис	Итоговый балл
M1	45-50 hp	Юг	1-3 га	кукуруза, маниок	18000	кооператив	0,82
M2	45-65 hp	Центр	3-15 га	кукуруза, ямс	28000	собственное владение	0,88
M3	80-95 hp	Север	10-25 га	хлопок, кукуруза	47000	сервис	0,91
M4	100-110 hp	Север	25+ га	хлопок, рис	68000	сервисный центр	0,86

Для автоматического расчёта может использоваться формула Excel типа:

$$= 0,15 * B2 + 0,15 * C2 + 0,20 * D2 + 0,10 * E2 + 0,20 * F2 + 0,10 * G2 + 0,10 * H2$$

Заключение

Формализованная процедура отбора техники – на основе интегральной взвешенной оценки – убивает необходимость в субъективном, интуитивном выборе машин. И это принципиально: подход учитывает сразу две вещи. Агроэкологические условия территории. И экономическую конъюнктуру.

Есть и практическое достоинство – табличная форма. Реализация в Excel делает инструмент доступным для районных агрономов-консультантов и самих сельхозпроизводителей. Навыки программирования не нужны.

Апробация в трёх зонах Бенина подтвердила: рекомендованные агрегаты дают снижение удельных затрат на 15-25 % по сравнению с унифицированными решениями. И улучшают соблюдение агросроков. Экономически обосновано и другое. Для малых хозяйств выгодны маломощные схемы. Для средних – универсальные. Для крупных и кооперативных – энергонасыщенные, но при условии годовой загрузки не менее 500 моточасов.

Предложенный подход можно адаптировать и для других регионов – путём перенастройки весов и коэффициентов под местную специфику.

Список литературы

1. Альт В.В., Исакова С.П. Планирование производства продукции растениеводства с примене-

нием цифровых технологий. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022;16(3):12-19. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19.

2. Гаджиев П.И., Кулаков К. В., Рамазанова Г. Г. и др. Математическая модель формирования рационального парка машин для сельскохозяйственных работ. *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2022;41(46):99-103.

3. Дидманидзе О. Н., Габитов И. И., Мударисов С. Г., Лавров А. В. Мониторинг состояния и определение технологической потребности в тракторах для регионального АПК (на примере Республики Башкортостан). *Техника и оборудование для села*. 2025;5(335):14-19. DOI 10.33267/2072-9642-2025-5-14-19.

4. Дидманидзе О. Н., Пуляев Н. Н., Гузалов А. С. Формирование подхода к созданию цифрового двойника трактора сельскохозяйственного назначения. *Известия Международной академии аграрного образования*. 2022;61:33-37.

5. Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Пуляев Н.Н., Прокофьев М. М. Перспективы развития тракторостроения в России. *Техника и оборудование для села*. 2023;5(311):2-7. DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7.

6. Дидманидзе О. Н., Петрик Д. Ю. Анализ



эффективности внедрения технологии ультразвуковой очистки деталей сельскохозяйственной техники. *Техника и оборудование для села*. 2025;7(337):37-38. DOI 10.33267/2072-9642-2025-7-37-38.

7. Аникин Н. В., Успенский И. А., Юхин И. А. [и др.]. Транспортировка и Показатели повреждений сельскохозяйственных грузов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: *Наука и высшее профессиональное образование*. 2026;1(85):566-581. DOI 10.32786/2071-9485-2026-01-59.

8. Карташов А. А., Успенский И. А., Юхин И. А. [и др.]. Обеспечение запасными частями станций технического обслуживания мобильной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: *Наука и высшее профессиональное образование*. 2025;6(84):524-533. DOI 10.32786/2071-9485-2025-06-57.

9. Карелина М. Ю., Ризаева Ю. Н., Баев В. В. [и др.]. Повышение эффективности работы транспортно-технологической системы. *Транспортное дело России*. 2024;2:192-196.

10. Дидманидзе О. Н., Парлюк Е. П., Новиченко А. И. Формирование рациональных структур технологических систем в природообустройстве с помощью агентного имитационного моделирования. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2026;27(2):504-517. DOI 10.30766/2072-9081.2026.27.2.504-517.

11. Дидманидзе О. Н., Федоткин Р. С., Крючков В. А. [и др.]. Индивидуальные гусеничные модули с изменяемым пятном контакта для сельскохозяйственных тракторов. *Техника и оборудование для села*. 2026;2(344):22-26. DOI 10.33267/2072-9642-2026-2-22-26.

12. Дидманидзе О. Н., Бугаев А. В., Макаров А. А. Физические основы рыхления почвы лапой

культиватора. *Техника и оборудование для села*. 2025;12(342):16-18. DOI 10.33267/2072-9642-2025-12-16-18.

13. Дидманидзе О. Н., Федоткин Р. С., Крючков В. А. [и др.]. Испытания съемной гусеничной ходовой системы сельскохозяйственного трактора класса 0,9. *Аграрный научный журнал*. 2025;8:111-120. DOI 10.28983/asj.y2025i8pp111-120.

14. Успенский И. А., Мурог И. А., Юхин И. А. [и др.]. Цифровая технология расчёта гарантированной вероятности безотказной работы запасных частей с предиктивной оценкой их надёжности на основе модели Пуассона. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: *Наука и высшее профессиональное образование*. 2026;3(87):571-579. DOI 10.32786/2071-9485-2026-03-63.

15. Данилов С. И., Алленов Д. Г., Успенский И. А. [и др.]. Сравнительный анализ нейросетевых моделей для оценки остаточного ресурса подшипников качения на основе вибрационных спектрограмм быстрой трансформации Фурье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: *Наука и высшее профессиональное образование*. 2026;2(86): 609-617. DOI 10.32786/2071-9485-2026-02-67.

16. Данилов С. И., Алленов Д. Г., Успенский И. А. [и др.]. Экспериментальное исследование вибродиагностики подшипников на основе спектрограмм быстрой трансформации Фурье. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2026;18(2):94-100. DOI 10.36508/RSATU.2026.18.28.012.

17. Дидманидзе О. Н., Федоткин Р. С., Крючков В. А. Испытания электрического транспортно-технологического средства сельскохозяйственного назначения по оценке потребительских свойств. *Проблемы машиностроения и автоматизации*. 2024;4:4-15. DOI 10.52261/02346206_2024_4_4.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Alt V.V., Isakova S.P. Planning crop production with the use of digital technologies. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022;16(3):12-19. (in Russ.). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19.
2. Gadzhiev P.I., Kulakov K.V., Ramazanov G.G. [et al.]. Mathematical model of the formation of a rational fleet of machines for agricultural work. *Herald of Russian State Agrarian Correspondence University*. 2022;41(46):99-103. (in Russ.).
3. Didmanidze O.N., Gabitov I.I., Mudarisov S.G., Lavrov A.V. Monitoring the status and determining the process requirements for tractors for the regional agro-industrial complex (using the republic of bashkortostan as an example). *Machinery and equipment for rural area*. 2025;5(335):14-19. (in Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2025-5-14-19.
4. Didmanidze O.N., Pulyaev N.N., Guzalov A.S. Forming an approach to creating a digital twin of agricultural tractor. *Izvestiâ Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniâ*. 2022;61:33-37. (in Russ.).
5. Didmanidze O.N., Parlyuk E.P., Pulyaev N.N., Prokofiev M.M. Prospects for the development of tractor construction in Russia. *Machinery and equipment for rural area*. 2023;5(311):2-7. (in Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7.
6. Didmanidze O.N., Petrik D.YU. Analysis of the efficiency of implemented ultrasonic cleaning technology for agricultural machinery parts. *Machinery and equipment for rural area*. 2025;7(337):37-38. (in Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2025-7-37-38.
7. Anikin N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A. [et al.]. The transportation and the damage indicators of the agricultural goods. *Proc. of the Lower Volga AgroUniversity Comp*. 2026;1(85):566-581. (in Russ.). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-59.



8. Kartashov A. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A. [et al.]. The provision of spare parts for the mobile equipment service stations. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025;6(84):524-533. (in Russ.). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-57.
9. Karelina M., Rizaeva Y., Baev V. [et al.]. Increasing the efficiency of the transportation and technological system. *Transport business in Russia.* 2024;2:192-196. (In Russ.).
10. Didmanidze O. N., Parlyuk E. P., Novichenko A. I. Formation of rational structures of technological systems in environmental management using agent-based simulation modeling. *Agricultural Science Euro-North-East.* 2026;27(2):504–517. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2026.27.2.504-517
11. Didmanidze O.N., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A. [et al.]. Individual track modules with variable contact patch for the agricultural tractors. *Machinery and equipment for rural area.* 2026;2(344):22-26. (In Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2026-2-22-26.
12. Didmanidze O.N., Bugaev A.V., Makarov A.A. Physical principles of soil loosening with a cultivator blade/ *Machinery and equipment for rural area.* 2025;12(342):16-18. (In Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2025-12-16-18.
13. Didmanidze O. N., Fedotkin R. S., Kryuchkov V. A. [et al.]. Testing of the removable caterpillar undercarriage system of a class 0.9 agricultural tractor. *Agrarian Scientific Journal.* 2025;8:111-120. (In Russ.). DOI 10.28983/asj.y2025i8pp111-120.
14. Uspensky I. A., Murog I. A., Yukhin I. A. [et al.]. The digital technology for the guaranteed probability of the spare parts' failure-free operation calculating with the predictive assessment of their reliability based on the Poisson model. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026;3(87):571-579. (In Russ.). DOI 10.32786/2071-9485-2026-03-63.
15. Danilov S. I., Allenov D. G., Uspensky I. A. [et al.]. Comparative analysis of neural network models for estimating the residual life of rolling bearings based on vibration spectrograms of fast Fourier transformation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026;2(86): 609-617. (In Russ.). DOI 10.32786/2071-9485-2026-02-67.
16. Danilov S.I., Allenov D.G., Uspensky I.A. [et al.]. Experimental study of vibration diagnostics of bearings based on fast Fourier transformation spectrograms. *Ryazan Agrotech University Bulletin.* 2026;18(2):94-100. (In Russ.). DOI 10.36508/RSATU.2026.18.28.012.
17. Didmanidze O.N., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A. Testing of electric multi-purpose agricultural unit for assessing consumer properties. *Engineering & automation problems.* 2024;4:4-15. (in Russ.). DOI 10.52261/02346206_2024_4_4.

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

Дидманидзе Отари Назирович, д-р техн. наук, профессор, академик РАН, зав. кафедрой тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия, didmanidze@rgau-msha.ru.

Парлюк Екатерина Петровна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия, kparlyuk@yandex.ru.

Косов Павел Николаевич, канд. экон. наук, докторант кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия

Author Information

Otari N. Didmanidze, D.Sc. (Engineering), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia Didmanidze@rgau-msha.ru

Ekaterina P. Parlyuk, D.Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia kparlyuk@yandex.ru.

Pavel N. Kosov, Cand.Sc. (Economics), Doctoral Candidate of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Статья поступила в редакцию 6.08.2026; одобрена после рецензирования 10.09.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 6.08.2026; approved after reviewing 10.09.2026; accepted for publication 16.09.2026



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 544.723.212
DOI: 10.36508/RSATU.2026.26.46.013

**ИССЛЕДОВАНИЯ АДсорбЦИОННЫХ СВОЙСТВ КЛИНОПТИЛОЛИТА
В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД**

Татьяна Ильинична Дрововозова¹✉, Дарья Вячеславовна Мильченкова¹

¹ ФГБНУ Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск, Россия

✉ tid70.drovovozova@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. При практическом использовании сорбентов для очистки воды важными параметрами являются адсорбционная емкость, применяемый регенерационный раствор, стоимость. Известно, что при использовании природных адсорбентов их емкость и межрегенерационный срок службы в основном определяют экспериментально, для регенерации используют растворы кислот, щелочей, солей, что увеличивает эксплуатационные затраты на их применение. Цель исследования – определение динамической адсорбционной емкости и динамической адсорбции используемого клиноптилолита для установления срока службы загрузки в пересчете на размеры реального сооружения и объем коллекторно-дренажных вод, проходящих через него.

Методология. Для расчета динамической адсорбции клиноптилолита применялась модель BDST (bed depth/service time (толщина слоя/срок службы)). Исследуемыми металлами являлись железо, марганец, медь, свинец, цинк, никель, кадмий. Лабораторные исследования динамической адсорбции клиноптилолита проводились в искусственных условиях, соответствующих натурным, позволяющим управлять экспериментом.

Результаты. Экспериментальные исследования путем кратного фильтрования коллекторно-дренажных вод через слой клиноптилолита толщиной 17 см позволили получить уравнения динамической адсорбции каждого иона металла исследуемым клиноптилолитом, по которым рассчитали константу скорости адсорбции и динамическую адсорбцию для каждого иона металла. Общая динамическая адсорбция составила 0,416 г/кг. В реальных условиях слой загрузки составляет 102 см массой 6000 кг, соответственно, клиноптилолит будет поглощать из потока воды 2,496 кг ионов металлов, тогда как предельное количество ионов, которое может быть поглощено данной массой клиноптилолита, составит 3,306 кг ионов металлов.

Заключение. Полученные результаты динамической адсорбции клиноптилолита позволили установить максимальное количество поглощенных ионов металлов данным природным сорбентом, соответственно, регулировать продолжительность его работы при изменении концентрации ионов в очищаемой воде, либо увеличении расхода воды в сооружении.

Ключевые слова: динамическая адсорбция, динамическая адсорбционная емкость, клиноптилолит, ионы металлов, очистка воды, коллекторно-дренажные воды

Для цитирования: Дрововозова Т. И., Мильченкова Д. В. Исследования адсорбционных свойств клиноптилолита в процессе очистки коллекторно-дренажных вод // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.96-104 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.26.46.013](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.26.46.013)

Original article

**RESEARCH ON THE ADSORPTION PROPERTIES OF CLINOPTILOLITE
IN THE PROCESS OF COLLECTOR-DRAINAGE WATER PURIFICATION**

Tatyana I. Drovovozova¹✉, Darya V. Milchenkova¹

¹Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russia

✉ tid70.drovovozova@yandex.ru

**Abstract.**

Problem and purpose. In the practical use of sorbents for water purification the important parameters are the adsorption capacity, the regeneration solution used and the cost. It is known that using natural adsorbents their capacity and inter-regeneration service life are mainly determined experimentally. For regeneration used solutions of acids, alkalis and salts, which increases the operating costs of their application. The research aims to determine the dynamic adsorption capacity and dynamic adsorption characteristics of the clinoptilolite used in order to establish the service life of the filter media. This calculation is based on the scale of the actual facility and the volume of collector-drainage water passing through it.

Methodology. The dynamic adsorption of clinoptilolite was modeled using the BDST model (Bed Depth/Service Time). The metals under study were iron, manganese, copper, lead, zinc, nickel and cadmium. Laboratory investigations of dynamic adsorption were conducted under controlled artificial conditions that allowed to control the experiment.

Results. Experimental studies, involving the repeated filtration of collector-drainage water through a 17 cm layer of clinoptilolite, enabled the derivation of dynamic adsorption equations for each metal ion on the clinoptilolite. These equations were used to calculate the adsorption rate constant and the dynamic adsorption for each metal ion. The total dynamic adsorption was 0,416 g/kg. In real conditions the filter bed is 102 cm deep and has a mass of 6,000 kg. The clinoptilolite will adsorb 2,496 kg of metal ions from the water flow, whereas the maximum amount of ions that can be adsorbed by this mass of clinoptilolite will be 3,306 kg of metal ions.

Conclusion. The obtained results on the dynamic adsorption of clinoptilolite enabled the determination of the maximum amount of metal ions that can be absorbed by this natural sorbent. This, in turn, allows for the regulation of its operational lifespan in response to changes in the concentration of ions in the water being treated or to an increase in the water flow rate through the facility.

Key words: dynamic adsorption, dynamic adsorption capacity, clinoptilolite, metal ions, water purification, collector-drainage waters

For citation: Drovovozova T.I., Milchenkova D.V. Research on the adsorption properties of clinoptilolite in the process of collector-drainage water purification // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P. 96-104 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.26.46.013>

Введение

В настоящее время одним из острых вопросов экологической безопасности мелиоративных систем является качество коллекторно-дренажных вод, отводимых с орошаемых земель и поступающих в природные водные объекты. Основными загрязняющими веществами в таких водах являются солеобразующие ионы, биогенные элементы, остаточные количества минеральных удобрений и пестицидов, тяжелые металлы [1, 2]. Очистка коллекторно-дренажных вод позволит получить дополнительный ресурс поливной воды, снизить негативное воздействие на водные объекты.

При очистке коллекторно-дренажных вод может применяться большое количество природных и синтетических сорбентов, позволяющих очищать таковые воды и повторно использовать на нужды орошения [3-5]. При выборе любого из них прежде всего учитывают сорбционные свойства, межрегенерационный срок службы, стоимость. Анализ отдельных параметров эксплуатации сорбентов, а именно адсорбционной емкости, применяемых регенерационных растворов и рыночной стоимости, показал, что при использовании природных адсорбентов их емкость в основном определяют экспериментально, для регенерации используют либо растворы кислот, щелочей, кальцинированной соды, поваренной соли, либо термическую обработку или фотокаталитические реакции. Для отдельных сорбентов требуется промывка дистиллированной водой, что значительно увеличивает эксплуатационные расходы при их использовании [6].

Проведен анализ природных и синтетических сорбентов, который позволил установить их характеристику и технологические параметры. Для очистки вод от Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} использует

ся Na-катионит, регенерируемый раствором соли (NaCl) и имеющий ориентировочную стоимость 100-250 руб./кг. Очистка воды от Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , Al^{3+} может осуществляться с помощью Н-катионита. Данный сорбент регенерируется кислотными растворами (HCl , H_2SO_4) и имеет ориентировочную стоимость, как и Na-катионит (Лин Маунг Маунг. Очистка сточных вод от тяжелых металлов методом ионного обмена / Лин Маунг Маунг, В. О. Шитова, Г. Г. Каграманов // Успехи в химии и химической технологии. 2016. №2 (171)).

Известны сорбент MC и сорбент AC, имеющие малый период насыщения, что соответствует группе слабокислотных катионитов. Представленные сорбенты поглощают из воды ионы тяжелых металлов (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}), регенерируются соляной кислотой, обладают средней стоимостью (100-250 руб./кг), при этом при наличии большого количества солеобразующих ионов в очищаемой воде теряют величину сорбции металлов [6].

Широким спектром сорбируемых ионов и невысокой стоимостью (30-50 руб./кг) характеризуются природные сорбенты цеолитового происхождения. В случае содержания в очищаемых водах большого количества железа (III) следует применять монтмориллонит, обладающий высокой селективностью к его ионам (Реснянская А. С. Изучение закономерностей процесса сорбции ионов железа (III) природным сорбентом с целью очистки вод / А. С. Реснянская, Л. А. Джигота, В. А. Васильев // Естественные науки. 2023. № 4(13). С. 13–23. DOI 10.54398/1818507X_2023_4_13. EDN ZPMIUI). Для увеличения сорбционной способности монтмориллонит предварительно обрабатывается раствором серной кислоты (Каныгина О. Н. К вопросу о сорбционной очистке воды монтмориллонит



содержащей глиной / О. Н. Каныгина, А. Г. Четверикова, А. Д. Стрекаловская, О. В. Варламова // Вестник ОГУ. 2014. №9 (170)). Очистка коллекторно-дренажных вод от ионов металлов, в том числе тяжелых, ионов аммония, фтора, радионуклидов и др. (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{3+} , NH_4^+ , Cs^+ , Fe^{2+} , F^- , H_2S , Ca^{2+} , Mg^{2+}) может осуществляться с использованием в качестве сорбента клиноптилолита, который регенерируется раствором поваренной соли (Ватин Н. И. Применение цеолитов клиноптилолитового типа для очистки природных вод / Н.И. Ватин, В.Н. Чечевичкин, А.В. Чечевичкин, Е.С. Шилова // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 2(37). С. 81-88. DOI 10.5862/MCE.37.12. EDN PXABMD). Преимущество клиноптилолита заключается в его универсальности за счет пористой структуры, обеспечивающей как адсорбцию, так и ионный обмен, что делает его эффективным материалом для очистки воды от органических, неорганических и радиоактивных веществ [7]. Для увеличения степени дисперсности частиц клиноптилолита и увеличения его удельной адсорбционной способности сорбент может подвергаться различным модификациям, в том числе обработке сверхвысокочастотным электромагнитным полем [8]. Увеличения площади адсорбирующей поверхности цеолита можно достичь также путем обработки сорбента различными кислотами, например, серной и соляной [9].

Для очистки воды также могут быть использованы фотокатализаторы, созданные на основе диоксида титана, обладающие высокой адсорбцией для ионов кальция и бария (Русакова С. М. Изучение свойств TiO_2 в контексте решения научно-практических проблем промышленного производства / С. М. Русакова, И. Г. Горичев, И. В. Артамонова, Е. О. Забенькина, Ю. С. Агеева // Известия МГТУ. 2010. №2). При создании оптимальных условий TiO_2 также может адсорбировать ионы свинца и мышьяка. Однако основным недостатком такого сорбента является его высокая стоимость (около 60 000 руб./кг) и сложность эксплуатации, связанная с использованием высокоэнергетичного ультрафиолетового излучения.

Очистка воды от ионов тяжелых металлов, радионуклидов, сероводорода и органических примесей может осуществляться с использованием синтетических цеолитоподобных сорбентов. Тип регенерации такого сорбента зависит от типа адсорбированных веществ: термическая обработка, химическая регенерация, обработка паром, комбинированные методы (Шилина А. С. Сорбция катионов тяжелых металлов и радионуклидов из водных сред новым синтетическим цеолитоподобным сорбентом / А. С. Шилина, В. Д. Бахтин, С. Б. Бурухин, С. Р. Асхадуллин // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2017. № 1. С. 116–126. DOI 10.26583/npe.2017.1.11. EDN YKUXCP).

Проведенный анализ показал, что наибольшей селективностью к ионам аммония, железу, марганцу и тяжелым металлам, а также ионообменной емкостью по Na-катионному типу, технологичной безопасностью регенерационного раствора и от-

носительно низкой стоимостью обладает клиноптилолит. Однако при его применении необходимо экспериментально определить динамическую адсорбцию с целью установления межрегенерационного срока службы, что и определило актуальность исследований.

При практическом использовании сорбента важными показателями являются динамическая адсорбция (q_m) и динамическая адсорбционная емкость (ДАЕ) [10]. Динамическая адсорбция – процесс непрерывного поглощения вещества из потока жидкости, который проходит через слой адсорбента, характеризующийся изменением концентрации вещества на поверхности адсорбента во времени, что позволяет получить представление о сроке службы сорбента. В настоящее время существует несколько моделей для описания динамической адсорбции и проскока адсорбируемого вещества через адсорбент: модели BDST (bed depth/service time (толщина слоя/срок службы)), Юна-Нельсона и Томаса ((Wheeler A., Robell A.J. Performance of Fixed-Bed Catalytic Reactors with Poisson in the Feed // J. Catalysis. 1969. V. 13. P. 299-305), (Chang C.D., Chu C.T-W., Kuehl G.H., Lago R.M. Nature of acid sites in borosilicate ZSM-5 zeolites. // Am. Chem. Soc., Div. Petr. Chem., Prepr., 1985. V. 30. pp. 195-204), (Шилина А. С., Бахтин В. Д., Бурухин С. Б., Асхадуллин С. Р. Сорбция катионов тяжелых металлов и радионуклидов из водных сред новым синтетическим цеолитоподобным сорбентом // Ядерная энергетика (Известия высших учебных заведений), 2017. № 1. С. 116-126. DOI: 10.26583/npe.2017.1.11. EDN: YKUXCP)). Согласно И. В. Кумпаненко и др. сходством перечисленных моделей является линейная зависимость величины $\ln(C_0/C-1)$ от времени t , описываемая обобщенным уравнением:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right) = a_0 - a_1 \cdot t \quad (1)$$

где C_0 – исходная концентрация адсорбируемого вещества (загрязняющего вещества) в очищаемой среде, мг/дм³,

C – равновесная (остаточная) концентрация адсорбируемого вещества в очищаемой среде, мг/дм³,

a_0 , a_1 – параметры для различных моделей (табл. 1),

t – время фильтрования через адсорбент, мин ((Реснянская А. С., Джигота Л. А., Васильев В. А. Изучение закономерностей процесса сорбции ионов железа (III) природным сорбентом с целью очистки вод // Естественные науки, 2023. № 4 (13). С. 13-23. https://doi.org/10.54398/1818507X_2023_4_13), (Srivastava V.C., Prasad B., Mishra T.M., Mall I.D., Swamy M.M. Prediction of Breakthrough Curves for Sorptive Removal of Phenol by Bagasse Fly Ash Packed Bed // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2008. V. 47(5). P. 1603–1613. DOI: 10.1021/ie0708475), (Ayoob S., Gupta A.K., Bhakat P.B. Analysis of breakthrough developments and modeling of fixed bed adsorption system for As(V) removal from water by modified



calcined bauxite (MCB) // Sep. Purif. Technol. 2007. V. 52. P. 430–438)).

Таблица 1 – Значение параметров a_0 и a_1 в различных моделях [10]

Модель	a_0	a_1
BDST	$\frac{k_{BA} \cdot q_m \cdot H \cdot \rho}{U}$	$k_{BA} \cdot C_0$
Томаса	$k_{Th} \cdot \frac{q_m \cdot M}{Q}$	$k_{Th} \cdot C_0$
Юна-Нельсона	$k_{YN} \cdot t_{1/2}$	k_{YN}

Примечание – k_{BA} , k_{Th} , k_{YN} – константы скорости адсорбции BDST, Томаса и Юна–Нельсона, соответственно;

q_m – динамическая адсорбционная емкость, г/кг; H – высота слоя адсорбента, см; ρ – насыпная плотность адсорбента, г/см³; U – линейная скорость фильтрования через адсорбент, мм/мин; M – масса адсорбента в колонке, г; Q – объемная скорость потока очищаемого раствора, см³/мин.

Модель Юна-Нельсона отличается от двух других тем, что тангенс угла наклона (a_1) прямой зависимости $\ln(C_0/C - 1)$ от t в уравнении (1) равен строго константе скорости адсорбции (k) и не зависит от каких-либо других параметров процесса. В моделях BDST и Томаса a_1 зависит еще от исходной концентрации загрязняющего вещества в растворе C_0 . Поскольку при проведении исследований исходная концентрация загрязняющего вещества C_0 , толщина слоя H , скорость фильтрования U были постоянными, то для математической обработки экспериментальных данных, полученных при фильтровании коллекторно-дренажных вод через неподвижный слой клиноптилолита, применили модель BDST.

Динамическая адсорбционная емкость (ДАЕ) адсорбента (a , г/кг), показывающая предельное количество адсорбируемого вещества единицей массы адсорбента, определяется по формуле:

$$a = \frac{(C_0 - C) \cdot V_{\text{с}}}{m} \quad (2)$$

где C_0 – исходная концентрация загрязняющего вещества в воде, г/м³;

C – равновесная (остаточная) концентрация после фильтрования через адсорбент, г/м³;

$V_{\text{с}}$ – объем фильтруемой воды, м³;

m – масса сорбента, кг [10].

Таким образом, динамическая адсорбция показывает поглощающую способность сорбента в статических условиях, а динамическая адсорбционная емкость – в динамических.

Цель исследований – определение динамической адсорбционной емкости и динамической адсорбции используемого клиноптилолита для установления срока службы загрузки в пересчете на размеры реального сооружения и объем коллекторно-дренажных вод, проходящий через него.

Научная новизна настоящих исследований заключается в получении уравнений динамической адсорбции ионов тяжелых металлов, железа и марганца исследуемым клиноптилолитом.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являлся процесс динамической адсорбции клиноптилолитом ионов металлов из коллекторно-дренажной воды (КДВ) рисовой оросительной системы для установления межрегенерационного срока службы. Модельный процесс очистки КДВ проводили в 3 этапа; 1 этап – введение коагулянта и аэрация, 2 этап – отстаивание, 3 этап – фильтрование через клиноптилолит. Схема блока фильтрования реального сооружения приведена на рисунке 1.

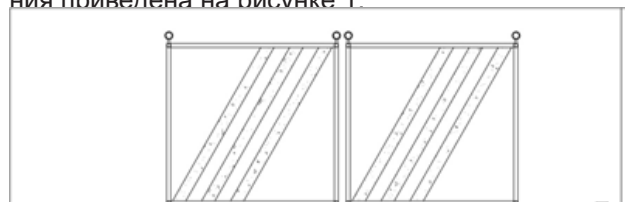


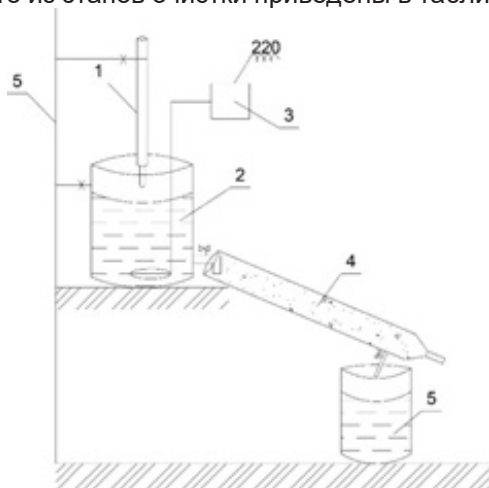
Рис. 1 – Схема блока фильтрования
Fig. 1 – The schematic illustration of the filter unit

Все исследования включали работы в эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ». Определение динамической адсорбции клиноптилолита в лаборатории выполняли в условиях, подобных реальному технологическому процессу, в исходную КДВ из коллектора предварительно ввели расчетную дозу коагулянта, аэрировали в течение 5 мин, отстаивали и слили отстаиваемую воду над осадком. Отстаиваемую воду с известной исходной концентрацией ионов металлов профильтровали через делительную воронку, заполненную клиноптилолитом, вместимостью 1000 мл, в нижней части которой впаян РТФЕ кран, изменяя продолжительность контакта воды с клиноптилолитом путем кратности фильтрования. Динамическую адсорбцию ионов металлов клиноптилолитом определили, исходя из следующих данных эксперимента: высота загрузки $H = 17$ см, линейная скорость фильтрования $U = 3,6$ см/мин. Насыпную плотность исследуемого цеолита определили экспериментально через объем загрузки клиноптилолита V и его массу в



сухом виде $m = 773,25$ г, как $\rho = m/V$. Плотность ρ равна $0,925$ г/см³. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 2.

Химический анализ исходной воды и после всех этапов очистки проводили в аккредитованной эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ». Результаты химического анализа воды после каждого из этапов очистки приведены в таблице 2.



1 – бюретка с коагулянт, 2 – емкость с дренажно-сбросной водой, 3 – аэратор, 4 – адсорбционная колонна, 5 – емкость с очищенной водой

Рис. 2 – Схема лабораторной установки
1 – burette with coagulant, 2 – container with collector-drainage water,

3 – aerator, 4 – adsorption column, 5 – container with purified water

Fig. 2 – The schematic illustration of the laboratory setup

Таблица 2 – Результаты химического анализа воды после полного цикла очистки

Определяемый показатель	В исходной воде, $C_{исх}$	После введения коагулянта и 5-ти мин аэрации, C_0	После фильтрования через один слой клиноптилолита
Железо, мг/дм ³	0,09	0,017	0,0019
Медь, мг/дм ³	0,003	0,003	0,0005
Марганец, мг/дм ³	0,07	0,002	0,0001
Свинец, мг/дм ³	0,011	0,011	0,0011
Цинк, мг/дм ³	0,003	0,003	0,0001
Никель, мг/дм ³	0,015	0,012	0,003
Кадмий, мг/дм ³	0,016	0,016	0,0008
Сумма ионов, мг/дм ³	0,208	0,064	0,036

Концентрация меди, свинца, цинка и кадмия в воде не меняется после аэрации, снижения концентрации данных ионов добились фильтрованием воды через клиноптилитовую загрузку. Для увеличения эффективности очистки на сорбционном фильтре и увеличении срока его службы блок фильтрования состоял из шести слоев толщиной 17 см каждый.

Результаты исследований и их обсуждение

На рисунках 3, 4, 5 приведены диаграммы динамики концентраций тяжелых металлов, железа и марганца после первой стадии очистки (коагулирование и аэрация), после фильтрования через слой клиноптилолита толщиной 17 см (условно 1 кассета).

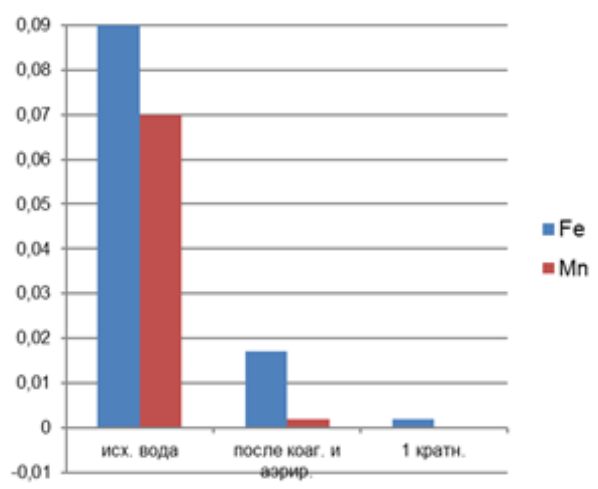


Рис. 3 – Динамика концентрации ионов железа и марганца в процессе полной очистки коллекторно-дренажных вод

Fig. 3 – Dynamics of iron and manganese ion concentrations during the full purification of collector-drainage water

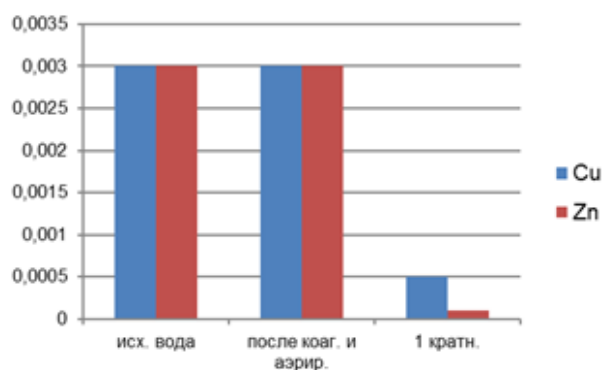


Рис. 4 – Динамика концентрации ионов меди и цинка в процессе полной очистки коллекторно-дренажной воды

Fig. 4 – Dynamics of copper and zinc ion concentrations during the full purification of collector-drainage water



Железо и марганец являются легко окисляемыми ионами металлов. Данные химического анализа показали содержание железа 0,09 мг/л, марганца 0,07 мг/л. После добавления в воду коагулянта и аэрации содержание железа снизилось на 81,1 %, марганца на 97 %. В результате полного процесса очистки концентрация железа снизилась на 88,8 %, марганца – 98,86 %.

Ионы свинца и кадмия также имеют стабильную высшую степень окисления и поэтому на стадии добавления коагулянта и аэрации не окислились, что подтвердили исследования (концентрация не изменялась). При фильтровании через один слой загрузки толщиной 17 см степень очистки от свинца составила 90 % и кадмия – 95%. Ионы никеля в присутствии ионов железа окисляются при аэрации воды, что подтверждено результатами исследований: степень очистки от никеля на первой стадии составила 20 %, после одного слоя загрузки – 75 %.

Продолжительность и остаточные концентрации определяемых ионов после каждой кратности фильтрования приведены в таблице 3.

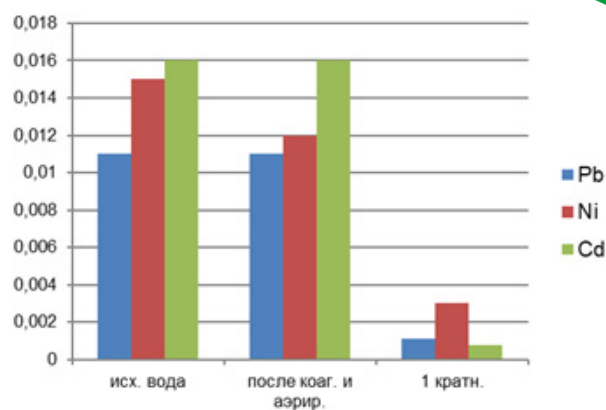


Рис. 5 – Динамика концентрации ионов свинца, никеля и кадмия в процессе полной очистки коллекторно-дренажной воды

Fig. 5 – Dynamics of lead, nickel and cadmium ion concentrations during the full purification of collector-drainage water

Таблица 3 – Результаты химического анализа воды после кратного фильтрования через клиноптилолит

Определяемый показатель	*Исходная концентрация C_0 , мг/дм³	Значение концентрации C в мг/дм³ при кратности фильтрования:					
		1	2	3	4	5	6
Железо	0,017	0,0019	0,0027	0,0027	0,0044	0,0052	0,0049
Медь	0,003	0,0005	0,00054	0,00067	0,00082	0,001	0,0017
Марганец	0,002	0,0001	0,0003	0,0005	0,0008	0,00086	0,0009
Свинец	0,011	0,0011	0,0020	0,0025	0,0035	0,0040	0,0046
Цинк	0,003	0,0001	0,0002	0,00035	0,00051	0,0005	0,0005
Никель	0,012	0,003	0,0035	0,005	0,0076	0,0072	0,0072
Кадмий	0,016	0,0008	0,0009	0,0012	0,0017	0,0021	0,0025
Продолжительность контакта воды с клиноптилолитом, t , мин	–	4,72	9,44	14,65	18,88	23,61	28,33

* – Концентрации ионов в воде после коагулирования и аэрации

Коллекторно-дренажную воду, содержащую одновременно ионы железа, меди, марганца, свинца, цинка, никеля, кадмия в концентрациях C_0 , приведенных в таблице 3, профильтровали через неподвижный слой клиноптилолитовой загрузки, фиксируя продолжительность фильтрова-

ния. По результатам экспериментальных данных построили зависимости $\ln(C_0/C-1)$ от t для динамической адсорбции каждого иона металла на исследуемом клиноптилолите. С помощью регрессионного анализа получили уравнения $y = f(x)$, где $y = \ln(C_0/C-1)$, $x = t$. (табл. 4).

Таблица 4 – Регрессионные уравнения динамической адсорбции тяжелых металлов при фильтровании через клиноптилолит

Показатель	Уравнение динамической адсорбции	Коэффициент аппроксимации
Железо	$y = -0,0544x + 2,2667$	$R^2 = 0,8885$
Медь	$y = -0,0734x + 2,1816$	$R^2 = 0,8743$
Марганец	$y = -0,1106x + 3,0011$	$R^2 = 0,8978$
Свинец	$y = -0,0797x + 2,4356$	$R^2 = 0,9441$
Цинк	$y = -0,081x + 3,4501$	$R^2 = 0,8845$
Никель	$y = -0,0993x + 1,6814$	$R^2 = 0,9826$
Кадмий	$y = -0,0572x + 3,2791$	$R^2 = 0,9821$



Полученные уравнения имеют общий вид $y = a_0 - a_1 \cdot t$. Результаты расчетов константы скорости адсорбции и динамической адсорбции ионов металлов исследуемым клиноптилолитом представлены в таблице 5. С учетом данных таблицы 1 константа скорости адсорбции $k = a_1 / C_0$, ДАЕ $q_m = \frac{a_0 \cdot U}{k \cdot H \cdot \rho}$ [10] (Шилина А. С. Сорбция

катионов тяжелых металлов и радионуклидов из водных сред новым синтетическим цеолитоподобным сорбентом / А. С. Шилина, В. Д. Бахтин, С. Б. Бурухин, С. Р. Асхадуллин // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2017. № 1. С. 116–126. DOI 10.26583/npe.2017.1.11. EDN YKUXCP).

Таблица 5 – Параметры a_0 и a_1 , рассчитанные параметры условий эксперимента по динамической адсорбции ионов металлов на исследуемом клиноптилолите

Адсорбируемый ион металла	a_0	a_1	k	q_m , г/кг
Железо	2,2667	0,0544	3,2	0,162
Медь	2,1816	0,0734	6,117	0,0816
Марганец	3,0011	0,1106	55,30	0,0124
Свинец	2,4356	0,0797	7,25	0,077
Цинк	3,4501	0,081	27,0	0,029
Никель	1,6711	0,4681	39,0	0,01
Кадмий	3,2733	0,2697	16,85	0,044

По результатам исследований динамическая адсорбция ионов металлов клиноптилолитом росла в ряду $Ni \rightarrow Mn \rightarrow Zn \rightarrow Cd \rightarrow Pb \rightarrow Cu \rightarrow Fe$. Высокое значение скорости адсорбции ионов марганца и никеля может быть объяснено их высокой подвижностью.

Таким образом, согласно модели BDST общая динамическая адсорбция используемого клиноптилолита равна 0,416 г/кг, т.е. из потока воды 1 кг данного клиноптилолита поглотит 0,416 г ионов металлов. Поскольку в реальном сооружении слой загрузки составит 102 см, а его масса равна 6000 кг, то указанная масса клиноптилолита будет поглощать из потока воды 2,496 кг ионов металлов.

Сезонный объем КДВ коллектора рисовой оросительной системы в 2025 году составил 56 тыс. м³. Суммарное содержание ионов метал-

лов в КДВ в течение сезона изменялось от 0,22 до 2,726 мг/дм³. Максимальная суммарная масса ионов металлов в КДВ наблюдалась в мае, что соответствовало периоду интенсивного сброса дренажно-сбросных вод с рисовых чеков и орошаемых земель после влагозарядки (табл. 6).

Поскольку экспериментом установлено, что после коагулирования и аэрации удаляется до 69 % металлов, то данная стадия очистки является обязательной и позволит снизить нагрузку на используемый сорбент. Расчеты суммарной массы тяжелых металлов, железа и марганца в объемах КДВ в течение поливного сезона, представленные Багаевским филиалом ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз», с учетом снижения их концентрации после коагулирования и аэрации представлены в таблице 7.

Таблица 6 – Суммарное содержание железа, марганца, меди, свинца и цинка по данным 2025 г

Месяц поливного сезона	май	июнь	июль	август
Исходная концентрация металлов в КДВ, мг/дм ³	2,726	0,234	0,558	0,22
Объем КДВ, тыс. м ³	6	15	20	15
Суммарная масса ТМ, кг	16,356	3,510	11,160	3,300

Таблица 7 – Концентрации металлов в КДВ в течение поливного сезона после коагулирования и аэрации и их суммарная масса

Месяц	май	июнь	июль	август
Концентрация металлов после К+А*, мг/дм ³	0,845	0,073	0,173	0,068
Объем КДВ, тыс. м ³	6	15	20	15
Суммарная масса металлов, кг	5,070	1,088	3,459	1,023

* – К+А – коагуляция и аэрация



Полученные расчеты показали возможность использования указанной массы и объема исследуемого клиноптилолита в течение всего сезона без внутрисезонной регенерации. После окончания сезонной эксплуатации клиноптилолита, наполненные им кассеты отправляют на регенерацию 0,1 н. (0,5 %-ным) раствором NaCl (OsmosTec. Технологии чистой воды. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://osmos-tec.ru/index.php?route=product/product&path=67&product-id=511>).

С учетом полученных в эксперименте ΔC для каждого иона, реального объема воды, проходящего через сооружения (56 тыс м³), и массы клиноптилолита 6000 кг, рассчитали динамическую адсорбционную емкость (ДАЕ) для каждого иона и его суммарную величину. Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Значение ДАЕ (а, г/кг) исследуемого клиноптилолита

Ион металла	Степень очистки, η, %	а, г/кг
Железо	88,8*	0,150
Медь	83,3	0,02484
Марганец	95*	0,0188
Свинец	90	0,0884
Цинк	96,7	0,0288
Никель	75	0,089
Кадмий	95	0,151
		Σ=0,551

* – Степень очистки определена с учетом стадии коагулирования и аэрации.

Таким образом, предельное количество ионов, которое может быть поглощено 6000 кг данного клиноптилолита, составит 3306 г или 3,306 кг.

Заключение

Практическая значимость проведенных исследований заключается в установлении срока межрегенерационной работы исследуемого клиноптилолита, позволяющего обосновать технологические параметры сооружения очистки коллекторно-дренажных вод рисовой оросительной системы. Полученные результаты динамической адсорбции клиноптилолита, составившей 0,416 г/кг и лимитирующим ионом железа, позволили установить максимальное количество поглощенных ионов металлов из потока вода данным природным сорбентом, соответственно регулировать продолжительность его работы при изменении концентрации ионов в очищаемой воде, либо увеличении расходов воды в сооружении. Предельное количество ионов, которое может быть поглощено (динамическая адсорбционная емкость) данным клиноптилолитом, составило 0,551 г/кг, т.е. динамическая адсорбция используемого клиноптилолита на 24,5 % ниже ДАЕ, что

необходимо учитывать при проектировании реального сооружения. В пересчете на массу клиноптилолита для реального сооружения, равную 6000 кг, межрегенерационный срок его службы сопоставим с продолжительностью поливного сезона при исходной суммарной концентрации тяжелых металлов, железа и марганца, не превышающей 0,208 мг/дм³ при лимитирующем ионе Fe²⁺.

Список источников

1. Дровозова Т. И., Манжина С. А. Гидроэкологическая оценка коллекторно-дренажного стока с оросительных систем *Ростовской области. Природообустройство* 2023;2:59-65. DOI 10.26897/1997-6011-2023-2-59-65.
2. Приходько И. А., Степанов В. И. Вопросы повышения экологической безопасности функционирования рисовой оросительной системы. *International Agricultural Journal*. 2022;65(1). DOI 10.55186/25876740_2022_6_1_5.
3. Головинов Е. Э., Стрельбицкая Е. Б., Соломина А. П. Использование и совершенствование сорбционного метода очистки дренажного стока мелиоративных систем. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2021;4:30–35.
4. Tamjidi S., Moghadas B.K., Shakerian Khoo F., [et al.]. Improving the surface properties of adsorbents by surfactants and their role in the removal of toxic metals from wastewater: A review study. *Process Safety and Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B*. 2021;148:775-795. DOI 10.1016/j.psep.2021.02.003.
5. Кирейчева Л. В., Супрун В. А. Агроинженерная технология улучшения качества дренажно-бросных вод с рисовых оросительных систем. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2021;6:4–8. DOI 10.32962/0235-2524-2021-6-4-8.
6. Никифоров А. Ф., Кутергин А. С., Низамова А. С. [и др.]. Сорбция тяжелых цветных металлов из водных растворов зернистыми фильтрующими материалами на основе кремнистых пород. *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2018;2:92-109.
7. Grifasi N., Ziantoni B., Fino D., et al. Fundamental properties and sustainable applications of the natural zeolite clinoptilolite. *Environmental Science and Pollution Research*. 2025;32:27805-27840. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33656-5>
8. Belchinskaya L.I., Anisimov M.V., Khodosova N.A., et al. Surface Characteristics of Magnetically Activated Clinoptilolite. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2020;56(6):1144-1149. <https://doi.org/10.1134/S02070205120060040>
9. Silva M., Lecus A., Lin Y., Corrao J. Tailoring Natural Zeolites by Acid Treatments. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2019;7:26-37. <https://doi.org/10.4236/msce.2019.72003>
10. Кумпаненко И. В., Иванова Н. А., Дюбанов М. В. [и др.]. Анализ выходных кривых динамического адсорбционного удаления загрязняющих веществ из воды. *Химическая физика*. 2019;38(3):52-63. DOI 10.1134/S0207401X1903004X.



Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References

1. Drovovozova T.I., Manzhina S.A. Hydroecological assessment of collector-drainage runoff from irrigation systems of the Rostov region. «*Prirodoobustrojstvo*» (*Environmental Engineering*). 2023;2:59-65. (in Russ.). DOI 10.26897/1997-6011-2023-2-59-65.
2. Prikhodko I.A., Stepanov V.I. Issues of increasing environmental security functioning of the rice irrigation system. *International agricultural journal*. 2022;65(1). DOI 10.55186/25876740_2022_6_1_5.
3. Golovinov E. E., Strelbitskaya E. B., Solomina A. P. Use and improvement of the sorption method for cleaning drainage runoff of reclamation systems. *Melioration and water management*. 2021;4:30–35. (in Russ.).
4. Tamjidi S., Moghadas B.K., Shakerian Khoo F. [et al.]. Improving the surface properties of adsorbents by surfactants and their role in the removal of toxic metals from wastewater: A review study. *Process Safety and Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B*. 2021;148:775-795. DOI 10.1016/j.psep.2021.02.003.
5. Kireicheva L. V., Suprun V. A. Agroengineering technology for improving the quality of drainage waste water from rice irrigation systems. *Melioration and water management*. 2021;6:4–8. (in Russ.). DOI 10.32962/0235-2524-2021-6-4-8.
6. Nikiforov A.F., Kutergin A.S., Nizamova A.F. [et al.]. Heavy non-ferrous metals adsorption from water solutions with granular filtering materials based on silicon rock. *Water sector of Russia: problems, technologies, management*. 2018;2:92-109. (in Russ.).
7. Grifasi N., Ziantoni B., Fino D., et al. Fundamental properties and sustainable applications of the natural zeolite clinoptilolite. *Environmental Science and Pollution Research*. 2025;32:27805-27840. DOI 10.1007/s11356-024-33656-5
8. Belchinskaya L.I., Anisimov M.V., Khodosova N.A., et al. Surface Characteristics of Magnetically Activated Clinoptilolite. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2020;56(6):1144-1149. DOI 10.1134/S2070205120060040
9. Silva M., Lecus A., Lin Y., Corrao J. Tailoring Natural Zeolites by Acid Treatments. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2019;7:26-37. DOI 10.4236/msce.2019.72003
10. Kumpanenko I.V., Ivanova N.A., Dyubnov M.V., et al. Analysis of Breakthrough Curves of Dynamic Adsorptive Removal of Pollutants from Water. *Russian journal of physical chemistry b*. 2019; 38(3):52-63. DOI 10.1134/S0207401X1903004X.

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

Дрововозова Татьяна Ильинична, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск, Россия tid70.drovovozova@yandex.ru

Мильченкова Дарья Вячеславовна, научный сотрудник, ФГБНУ Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск, Россия milchenkova.darya@mail.ru

Author Information

Tatyana I. Drovovozova, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russia tid70.drovovozova@yandex.ru

Darya V. Milchenkova, Scientific Associate, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russia milchenkova.darya@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.07.2026; одобрена после рецензирования 6.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 10.07.2026; approved after reviewing 6.08.2026; accepted for publication 16.09.2026.



Вестник РГАТУ, 2026, т.18, №3, с.105-113
Vestnik RGATU, 2026, Vol.18, №3, pp. 105-113

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 621.822.1
DOI: 10.36508/RSATU.2026.36.19.014

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА ДЛЯ ВОДЯНОГО ПОГРУЖНОГО НАСОСА
ТИПА ЭЦВ-8 С ОБОСНОВАНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА
И КОНСТРУКЦИИ ВТУЛКИ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ**

Никита Сергеевич Жбанов¹✉, Алексей Дмитриевич Чернышев¹, Алексей Михайлович Крысанов¹

¹ Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, г. Рязань, Россия

✉ zbanovnikita25@gmail.com

Аннотация. Проблема и цель. В настоящее время агропромышленный комплекс стабильно развивается. Одним из основных и наиболее перспективных средств совершенствования техники является применение в конструкциях современных материалов, отличающихся особыми свойствами. Область применения подшипников скольжения весьма разнообразна: автомобилестроение, судостроение, космическая промышленность, сельское хозяйство, нефтяная промышленность, ВПК. Наибольшее распространение они получили в отрасли сельского хозяйства и применяются в погружных насосах. Погружные или глубинные насосы для скважин и колодцев обеспечивают перекачивание воды из глубоких резервуаров. Особенностью погружных насосов для чистой и грязной воды является то, что корпус данных устройств расположен в воде. Рассматривая вопрос надёжности погружных насосов, следует отметить высокую степень нагруженности подшипникового узла. Эксплуатируемые в настоящее время стандартные подшипники не справляются с приходящими на них воздействиями и, как итог, не обеспечивают должного уровня надёжности. Для определения направления модернизации подшипника с целью повышения его надёжности и работоспособности необходимым является исследование процесса функционирования узла для определения первопричины возникновения отказов. Для повышения устойчивости к абразивным воздействиям предлагается модернизировать конструкцию подшипника, а также изменить основной материал, применяемый в сборочной единице. Рекомендуемые решения должны обеспечить наилучшее охлаждение, а также снизить степень отрицательных воздействий, приходящихся на подшипник со стороны абразивных частиц. Целью работы является исследование стандартного подшипника и разработка мероприятий по его модернизации. Кроме того, в программу исследований входит теоретический расчёт для уточнения оптимальной геометрии канавок, а также моделирование процесса износа втулки полимерного подшипника для подтверждения эффективности использования модернизированного узла.

Методология. Для проектирования нового подшипникового узла были проведены исследования по выбору материала для втулки подшипникового узла, а также геометрии канавок втулки. Не менее значимым следует считать проведённый расчёт параметров геометрии канавок втулки. Установлено, что применение канавок предложенной геометрии обеспечивает равномерное перемещение жидкости. Отмечается свободное перемещение жидкости по телу канавок. Сопротивление в данном случае минимально и стремится к нулю. Кроме того, проведённое интегрирование даёт возможность определения оптимальной геометрии арочного профиля при различных показателях вязкости жидкости. Ввиду этого, применение представленной технологии, с использованием полимерной втулки, возможно в различных средах с адаптацией под конкретную вязкость жидкости.

Результаты. Разрабатываемый подшипниковый узел будет иметь стандартную компоновку, состоящую из корпуса подшипника с полимерным вкладышем. Имеющиеся в полимерном вкладыше канавки выполнены по арочному типу. Габаритные размеры тела подшипника составляют 55х35х40 мм. Моделирование процесса износа и нагрузки спроектированного вкладыша подшипника из полимерного материала обеспечило формирование основных показателей и выявило достоин-



ства применения полимерного материала в сравнении с резиной. В результате проведённых исследований установлено, что предложенный вариант модернизированного подшипника с вкладышем из полиуретана способен обеспечить наилучшее охлаждение узла, снизить абразивные воздействия и, как следствие, повысить надёжность функционирования узла в целом.

Ключевые слова: подшипник скольжения, подшипниковый узел, геометрия канавок, конструкция, полимер, технология, сельскохозяйственное машиностроение

Для цитирования: Жбанов Н.С., Чернышев А.Д., Крысанов А.М. Анализ конструкции подшипникового узла для водяного погружного насоса типа ЭЦВ-8 с обоснованием изменения материала и конструкции втулки подшипника скольжения // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.105-113. [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.36.19.014](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.36.19.014)

Original article

ANALYSIS OF THE BEARING ASSEMBLY DESIGN FOR AN ECV-8 TYPE SUBMERSIBLE WATER PUMP WITH JUSTIFICATION FOR CHANGING THE MATERIAL AND DESIGN OF THE SLIDING BEARING SLEEVE

Nikita S. Zhbanov¹✉, Alexey D. Chernyshev¹, Alexey M. Krysanov¹

¹ Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia

✉ zbanovnikita25@gmail.com

Annotation.

Problem and purpose. Currently the agro-industrial complex is steadily developing. One of the main and most promising means of improving technology is the use of modern materials with special properties in structures. The field of application of sliding bearings is very diverse: automotive industry, shipbuilding, space industry, agriculture, oil industry, military-industrial complex, etc. They are most widely used in the agricultural sector and are used in submersible pumps. Submersible or deepwater pumps for wells and wells ensure the pumping of water from deep reservoirs. A special feature of submersible pumps for clean and dirty water is that the housing of these devices is located in the water. Considering the reliability of submersible pumps, it should be noted the high degree of loading of the bearing assembly. The standard bearings currently in use cannot cope with the impacts on them and, as a result, do not provide an adequate level of reliability. To determine the vector for upgrading the bearing in order to increase its reliability and operability, it is necessary to study the functioning of the assembly to determine the root cause of failures. To increase the resistance to abrasive influences, it is proposed to modernize the bearing design, as well as to change the basic material used in the assembly unit. The recommended solutions should ensure the best possible cooling, as well as reduce the degree of negative effects on the bearing from abrasive particles. The purpose of the work is to study a standard bearing and develop measures for its modernization. In addition, the research program includes theoretical calculations to clarify the optimal geometry of the grooves, as well as modeling the wear process of the polymer bearing sleeve to confirm the effectiveness of the upgraded assembly.

Methodology. To design the new bearing assembly, studies were conducted on the choice of material for the bearing assembly sleeve, as well as the geometry of the sleeve grooves. The calculation of the geometry parameters of the sleeve grooves should be considered equally significant. It is established that the use of grooves of the proposed geometry ensures uniform fluid movement. The free movement of fluid through the body of the grooves is noted. The resistance in this case is minimal and tends to zero. In addition, the integration makes it possible to determine the optimal geometry of the arched profile, with different viscosity indices of the liquid. In view of this, the application of the presented technology using a polymer sleeve is possible in various media, with adaptation to the specific viscosity of the liquid.

Results. The bearing assembly under development will have a standard layout consisting of a bearing housing with a polymer insert. The grooves available in the polymer insert are made according to the arched type. The overall dimensions of the bearing body are 55x35x40 mm. Modeling of the wear and load process of the designed bearing insert made of polymer material ensured the formation of the main indicators and revealed the advantages of using polymer material relative to rubber. As a result of the conducted research, it was found that the proposed version of the upgraded bearing with a polyurethane insert is capable of providing the best cooling of the unit, reducing abrasive effects and, as a result, increasing the reliability of the unit in general.

Key words: sliding bearing, bearing assembly, groove geometry, construction, polymer, technology, agricultural machinery

For citation: Zhbanov N.S., Chernyshev A.D., Krysanov A.M. Analysis of the bearing assembly design for an ecv-8 type submersible water pump with justification for changing the material and design of the sliding bearing sleeve // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, № 3, С.105-113 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.36.19.014>



Введение

В настоящее время агропромышленный комплекс стабильно развивается. Одним из основных и наиболее перспективных средств совершенствования техники является применение в конструкциях современных материалов, отличающихся особыми свойствами.

Резинометаллический подшипник (подшипник скольжения) – это направляющая механизма или машины, в которой трение происходит при скольжении сопряжённых поверхностей (рис. 1).



Рис. 1 – Резинометаллический подшипник
Fig. 1 – Rubber-metal bearing

Область применения таких подшипников весьма разнообразна: автомобилестроение, судостроение, космическая промышленность, сельское хозяйство, нефтяная промышленность, ВПК и т.д. Широкое применение резинометаллические подшипники (подшипники скольжения) получили в отрасли сельского хозяйства и применяются в погружных насосах.

Погружные насосы – это оборудование, которое является самым важным компонентом автономной системы водоснабжения. Погружные или глубинные насосы для скважин и колодцев обеспечивают перекачивание воды из глубоких резервуаров. Особенностью погружных насосов для чистой и грязной воды является то, что корпус данных устройств расположен в воде. Они отличаются также показателями производительности и напора, которые гораздо выше, чем у поверхностных насосов. Рассматривая вопрос надёжности погружных насосов, следует отметить высокую степень нагруженности подшипникового узла. Эксплуатируемые в настоящее время стандартные подшипники не справляются с приходившимися на них воздействиями и, как итог, не обеспечивают должного уровня надёжности. Для определения направления модернизации подшипника с целью повышения его надёжности и работоспособности необходимо исследование процесса функционирования узла для определения первопричины возникновения отказов. Как отмечалось ранее, работа подшипника связана с постоянными нагрузками. Вода, проходящая через подшипник, наряду с положительным воздействием (охлаждение, смазка) оказывает и негативное влияние, обусловленное наличием частичек абразива в жидкости.

Для повышения устойчивости к абразивным воздействиям предлагается модернизировать конструкцию подшипника, а также изменить основной материал, применяемый в сборочной единице. Рекомендуемые решения должны обеспечить

наилучшее охлаждение, а также снизить степень отрицательных воздействий, приходящихся на подшипник со стороны абразивных частиц. Целью работы является исследование стандартного подшипника и разработка мероприятий по его модернизации. Кроме того, в программу исследований входит теоретический расчёт для уточнения оптимальной геометрии канавок, а также моделирование процесса износа втулки полимерного подшипника для подтверждения эффективности применения модернизированного узла.

Материалы и методы исследования

Стандартный подшипник состоит из корпуса, который принято изготавливать из нержавеющей стали, а также вкладыша, выполняемого из резины. К основным недостаткам данных подшипников следует отнести значительные габариты в линейном направлении, потребность в больших объёмах смазки, невозможность использования конкретного подшипника в других устройствах, высокая степень износа при функционировании без должной смазки. Кроме вышеизложенного, следует отметить, что функционирование подшипника в стандартном исполнении сопряжено с высоким уровнем вибрационных воздействий, приводящих к дополнительному износу узла. Самым серьёзным недостатком является низкая абразивная стойкость, которая нередко приводит к растрескиванию вкладыша [1]. На рисунке 2 представлен общий вид стандартного, резинометаллического подшипника.



Рис. 2 – Резинометаллический подшипник скольжения
Fig. 2 – Rubber-metal sliding bearing

Ввиду того, что работа подшипника связана с трением, для уменьшения износа составных частей узла и обеспечения высокого уровня надёжности конструкции в целом, для изготовления вкладыша и подшипника применяют специальные материалы [2]. Для минимизации обоюдных воздействий между валом и вкладышем, последний рекомендуется изготавливать из антифрикционных материалов. Применение подобных материалов совместно с различными смазками позволяет снизить износ до минимума [3]. На рисунке 3 представлена техническая схема модернизированного подшипника.

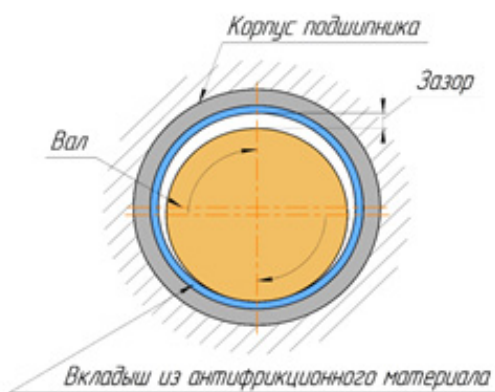


Рис. 3 – Техническая схема подшипника скольжения

Fig. 3 – Technical diagram of the sliding bearing

Для предлагаемого подшипника характерна высокая стойкость к вибрациям, высокая работоспособность при сравнительно простой

конструкции узла. Кроме того, модернизированный подшипник характеризуется малыми радиальными габаритами, а для его изготовления не требуется серьезных сырьевых затрат [4].

Одной из основных задач приведенного в статье исследования является определение оптимального материала для изготовления из него вкладыша подшипника. В качестве основного материала для вкладыша подшипника был выбран полиуретан СКУ-ПФЛ-100. Предложенный материал отличается своей универсальностью, способностью эффективно функционировать в различных соединениях, как подвижных, так и неподвижных [5]. Высокая фрикционная способность является наиболее важным положительным свойством полиуретана. Были проведены исследования по уточнению износостойкости и теплопроводности модернизированного подшипникового узла при разных температурах и при разном содержании наполнителя [6]. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Теплопроводность полимеров

Температура, ° C	Теплопроводность, λ (Вт/(м·К))				
	СКУ-ПФЛ-100, СМШ – 5 %	СКУ-ПФЛ-100, СМШ – 20 %	СКУ-ПФЛ-100, СМШ – 60 %	СКУ-ППЛ-65, СМШ – 60 %	СКУ-7Л, СМШ – 10 %
50	0,145	0,165	0,278	0,233	0,159
150	0,171	0,199	0,335	0,296	0,192

Анализируя полученные данные работоспособности насоса с модернизированным подшипником, отметим, что предложенный материал способен обеспечить высокий уровень надёжности и эффективности функционирования в различных температурных условиях, при этом деформация материала минимальна, составляет не более 1 %, или отсутствует вовсе [7]. Из анализа данных, представленных в таблице 1, следует, что повышение концентрации наполнителя ведёт к улучшению теплопроводности материала. Кроме того, следует отметить повышение теплопроводности прямо про-

порционально общему повышению температуры.

Для объективной оценки эффективности применения предлагаемой инновации необходимо сопоставление показателей теплопроводности модернизированного подшипника с аналогичными данными, характерными для стандартного подшипникового узла. Особого внимания заслуживают показатели трения, в данном случае, оказывающие наибольшее влияние на надёжность узла. В результате проведённых ранее исследований были уточнены показатели теплопроводности разных видов резины (табл. 2)

Таблица 2 – Теплопроводность резины

Температура, ° C	Теплопроводность, λ (Вт/(м·К))		
	Резина мягкая	Резина твердая обыкновенная	Резина пористая
50	0,135	0,195	0,09
150	0,158	0,229	0,16

Установлено, что стандартные резинометаллические подшипники характеризуются относительно низкой теплопроводностью и значительно уступают по этому показателю предлагаемым к внедрению подшипникам с полимерным вкладышем. При взаимодействии стали с резиновым вкладышем коэффициент трения находится в диапазоне 0,05-0,1. При этом следует отметить возможность изменения данного показателя на 0,002-0,003 за счёт прокачки воды и достижения высоких окружных скоростей. Несущая способ-

ность стандартных подшипников скольжения с резиновым вкладышем составляет 0,1-0,2 МПа, данный показатель является незначительным, которым можно пренебречь. Исходя из вышеизложенного, основываясь на сравнительном анализе характеристик теплопроводности материалов (рис. 4) и других уточнённых показателей, для изготовления вкладыша модернизированного подшипника был выбран полиуретан СКУ-ПФЛ-100, при этом оптимальным является 60 %-е содержание наполнителя [7]. Кроме использова-



ния инновационного материала, важной особенностью модернизированного подшипника станет оптимизированная геометрия канавок втулки. Для создания оптимальной геометрии канавки необходимым является проведение расчёта параметров канавки.

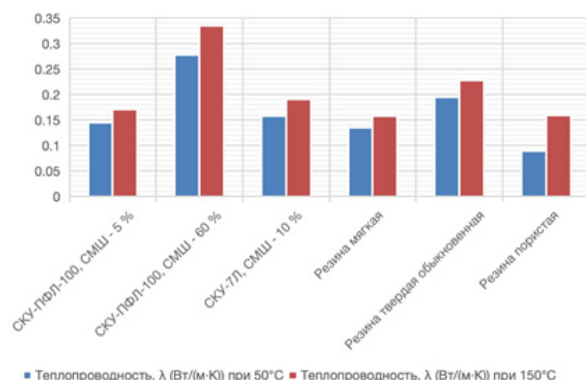


Рис. 4 – Сравнительный график теплопроводности резины и полимеров

Fig 4 – Comparative graph of thermal conductivity of rubber and polymers

Результаты исследования

Разрабатываемый подшипниковый узел будет иметь стандартную компоновку, состоящую из корпуса подшипника с полимерным вкладышем (рис. 4). Имеющиеся в полимерном вкладыше канавки (рис. 5) выполнены по арочному типу радиусом 54 мм с верхним пределом +0,3 мм и нижним пределом -0,25 мм, при этом форма канавки может быть прямой, трапециевидальной, радиусной [6].

Габаритные размеры тела подшипника составляют: корпус подшипника с наружным диаметром 55 мм и внутренним диаметром М45 и полимерная втулка с наружным диаметром, выполненным в виде резьбового соединения М45 с внутренним диаметром 35 мм с возможностью обеспечения посадки с натягом. Ширина подшипника составляет 40 мм. На рисунке 5 представлен общий вид разрабатываемого подшипника, а на рисунке 6 – геометрия канавок вкладыша [6].

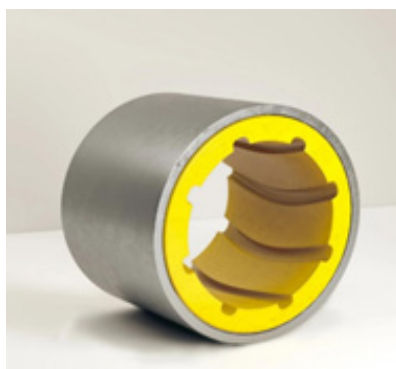


Рис. 5 – Разрабатываемый подшипниковый узел
Fig. 5 – Bearing assembly under development

Расчёт геометрии канавок проводился с учётом скорости прохождения жидкости через профиль

втулки [8]. На рисунке 7 представлено распределение сил, действующих на частицу, проходящую по телу подшипника

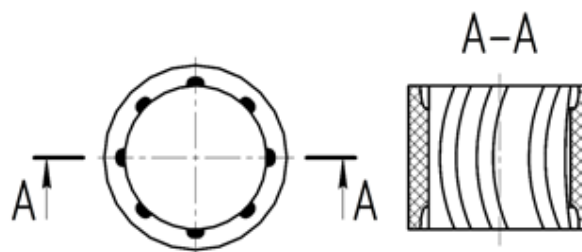


Рис. 6 – Геометрия канавок вкладыша
Fig. 6 – Geometry of the liner grooves

Расчёт геометрии канавок проводился с учётом скорости прохождения жидкости через профиль втулки [8]. На рисунке 7 представлено распределение сил, действующих на частицу, проходящую по телу подшипника

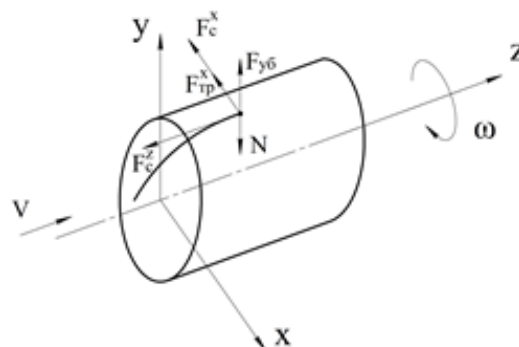


Рис. 7 – Распределение сил, действующих на частицу

Fig. 7 – The distribution of forces acting on the particle

Движение частиц в слое движущей жидкости вращающегося подшипника $\rho = \text{const}$ – цилиндр

$$\begin{cases} x = \rho \cdot \cos \phi \\ y = \rho \cdot \sin \phi \\ z = z \end{cases} \quad \begin{cases} \rho = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \phi = \arctg \frac{y}{x} \\ z = z \end{cases}$$

Пренебрежем силой тяжести частицы загрязнений. Центробежная сила $F_{цб}$

$$F_{цб} = m \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 \rho \quad (1)$$

где: $\frac{d\phi}{dt}$ – угловая скорость частицы загрязнений в потоке жидкости;

m – масса частицы загрязнений;



ρ – средний радиус цилиндрической поверхности подшипника.

$$F = 2 \frac{dz}{dt} \left(\frac{d\phi}{dt} \right) \cos 0 = 0 \quad (2)$$

Сила нормального давления

$$N = m\rho \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 \quad (3)$$

Силой трения пренебрегаем ввиду ее малости. Сила сопротивления частицы в жидкости

$$F_C = 6\pi\eta \cdot rV \quad (4)$$

где: V – абсолютная скорость частицы;

$\eta_{\text{воды}} = 1,002 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ динамическая жидкость;

r – диаметр частицы загрязнений.

Запишем дифференциальные уравнения движения частицы загрязнений с учетом выражений

$$\begin{cases} m\rho \frac{d^2\phi}{dt^2} - 6\pi\eta \cdot r \frac{d\phi}{dt} = 0 \\ -m\rho \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 + N = 0 \\ m \frac{d^2z}{dt^2} - 6\pi\eta \cdot r \frac{dz}{dt} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Приняв, что частица имеет форму шара,

$m = \gamma \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ Разделим выражение (5), получим

$$\begin{cases} \rho \frac{d^2\phi}{dt^2} - 6 \frac{\pi\eta \cdot r}{m} \cdot \frac{d\phi}{dt} = 0 \\ N = m\rho \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 \\ \frac{d^2z}{dt^2} - 6 \frac{\pi\eta \cdot r}{m} \cdot \frac{dz}{dt} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Чтобы получить траекторию частицы загрязнений, необходимо дважды проинтегрировать два дифференциальных уравнения

$$\begin{cases} \rho \frac{d^2\phi}{dt^2} - 6 \frac{\pi\eta \cdot r}{m} \frac{d\phi}{dt} = 0 \\ \frac{d^2z}{dt^2} - 6 \frac{\pi\eta \cdot r}{m} \frac{dz}{dt} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Решим линейное однородное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами

$$\ddot{\phi} - \dot{\phi} 6 \frac{\pi\eta \cdot r}{m} = 0 \quad (8)$$

Для удобства обозначим $6 \frac{\pi\eta \cdot r}{m} = k$. Тогда однородная часть дифференциального уравнения:

$$\ddot{\phi} - k \dot{\phi} = 0 \quad (9)$$

Составим характеристическое уравнение

$$\lambda^2 - k \lambda = 0 \quad (10)$$

Корни характеристического уравнения выглядят следующим образом $\lambda = 0$

$\lambda = k$, тогда общее решение выглядит следующим образом

$$\phi(t) = C_1 + C_2 e^{kt} \quad (11)$$

Угловую скорость определим, продифференцировав уравнение (12)

$$\dot{\phi}(t) = C_2 k e^{kt} \quad (12)$$

Таким образом, имеем систему

$$\begin{cases} \phi(t) = C_1 + C_2 \cdot e^{kt} \\ \dot{\phi}(t) = C_2 \cdot k \cdot e^{kt} \end{cases} \quad (13)$$

Зададим начальные условия при $t=0$, $\phi(0)=0$, $\dot{\phi}(0)=\omega_{\Pi}$, получим

$$\omega_{\Pi} = C_2 \cdot k \cdot e^{k \cdot 0} \quad (14)$$

Тогда

$$C_2 = \frac{\omega_{\Pi}}{k} \quad (15)$$

Подставив C_2 в выражение (13), получим

$$C_1 = -\frac{\omega_{\Pi}}{k} \quad (16)$$

Подставим C_1 и C_2 в уравнение (11)

$$\phi(t) = \frac{\omega_{\Pi}}{k} - \frac{\omega_{\Pi}}{k} e^{kt} \quad (17)$$

Аналогично решим линейное однородное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами по переменной z

$$\ddot{z} - \dot{z} \cdot \frac{6\pi \cdot \eta \cdot r}{m} = 0 \quad (18)$$

Для удобства обозначим $\frac{6\pi\eta \cdot r}{m} = k$ Тогда однородная часть дифференциального уравнения:

$$\ddot{z} - k \cdot \dot{z} = 0 \quad (19)$$

Составим характеристическое уравнение

$$\lambda^2 - k \cdot \lambda = 0 \quad (20)$$

Корни характеристического уравнения выглядят следующим образом $\lambda = 0$, $\lambda = k$, тогда общее решение выглядит следующим образом

$$z(t) = C_1 + C_2 \cdot e^{kt} \quad (21)$$

Скорость определим, продифференцировав уравнение



$$\dot{z}(t) = C_2 \cdot k \cdot e^{kt} \quad (22)$$

Зададим начальные условия при $t=0$, $z=0$, $\dot{z}=V_z$, получим

$$\begin{cases} z(t) = C_1 + C_2 \cdot e^{kt} \\ \dot{z}(t) = C_2 \cdot k \cdot e^{kt} \end{cases} \quad (23)$$

Зададим начальные условия при $t=0$, $z=0$, $\dot{z}=V_z$ получим

$$C_2 = \frac{V_z}{k} \quad (24)$$

Подставим C_2 в выражение (24), получим

$$C_1 = -\frac{V_z}{k} \quad (25)$$

Подставим C_1 и C_2 в уравнение (22)

$$z(t) = -\frac{V_z}{k} + \frac{V_z}{k} \cdot e^{kt} \quad (26)$$

В результате имеем

$$\begin{cases} z(t) = -\frac{V_z \cdot m}{6\pi\eta \cdot r} + \frac{V_z}{k} \cdot e^{6\frac{\pi\eta \cdot r}{m} t} \\ \phi(t) = -\frac{\omega_{II} \cdot m}{6\pi\eta \cdot r} + \frac{\omega_{II} \cdot m}{6\pi\eta \cdot r} e^{6\frac{\pi\eta \cdot r}{m} t} \end{cases} \quad (27)$$

На основании полученных данных в программе Mathcad построены графики изменения координат перемещения частицы в зависимости от времени нахождения в подшипнике, представленные на рисунке 8.

Проанализировав рисунок 8, можем сделать вывод, что угловое и линейное перемещения частицы стабилизируются с течением времени. Наибольшее изменение координат частицы зафиксировано в начальный момент попадания ее в подшипник, далее изменение координат происходит с меньшей скоростью. Применение канавок предложенной геометрии обеспечивает равномерное перемещение жидкости. Отмечается свободное перемещение жидкости по телу канавок. Сопротивление в данном случае минимально и стремится к нулю. Кроме того, проведенное исследование даёт возможность определения оптимальной геометрии арочного профиля при различных показателях вязкости жидкости. Ввиду этого, применение представленной технологии, с использованием полимерной втулки, возможно в различных средах, с адаптацией под конкретную вязкость жидкости.

Спроектированный вкладыш подшипника из полимерного материала был описан в программе «T-FLEX анализ». Моделирование процесса износа и нагрузки на полимерный подшипник представлено на рисунке 9. В программе были заданы основные характеристики и описан процесс работы и износа подшипникового узла, включающий следующие характеристики: сопротивление к абразивному износу; критическое давление внутри

подшипника (равное 100 МПа); температурный диапазон (от -10°C до $+110^\circ \text{C}$).

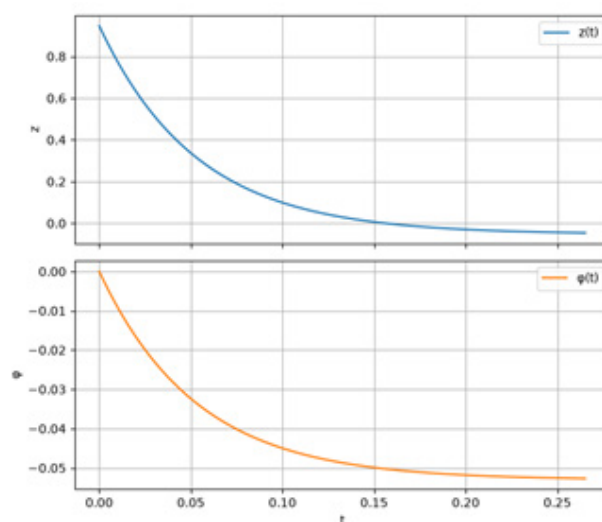
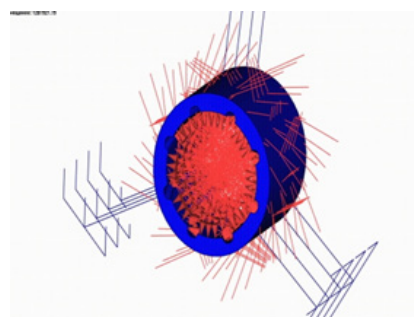
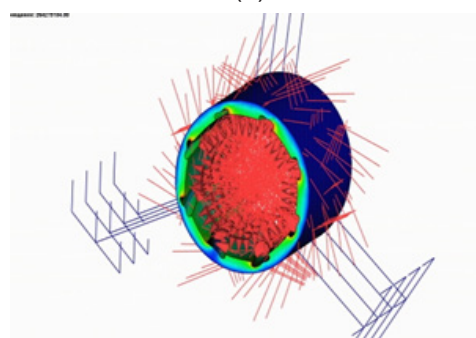


Рис. 8 – Изменение координат перемещения частицы от времени нахождения в подшипнике

Fig. 8 – Variation of particle displacement coordinates with the time spent in the bearing



(а)



(б)

а – состояние без износа; б – состояние критического износа

Рис. 9 – Моделирование процесса износа втулки полимерного подшипника

Fig. 9 – Simulation of the wear process of a polymer bearing sleeve

Сравнение характеристик полимерно-металлического и резинометаллического подшипников по вышеперечисленным характеристикам обеспечило формирование основных показателей и выявило достоинства применения полимерного материала по сравнению с резиной. Моделирование



процесса работы полимерного подшипника в программе «T-FLEX анализ» показало, что резинометаллический подшипник нагревается и подвержен абразивному износу гораздо сильнее при работе, чем подшипник из полимерного материала СКУ-ПФЛ-100.

На основании ранее опубликованного материала был получен патент на полезную модель № 239619 «Гидростатический подшипник».

Заключение

В результате проведенных исследований подобран материал для изготовления вкладыша подшипника, проведен расчет геометрии канавок с учетом скорости прохождения жидкости через профиль втулки, а также смоделирован процесс износа полимерного подшипника. В результате проведенных исследований установлено, что предложенный вариант модернизированного подшипника с вкладышем из полиуретана способен обеспечить наилучшее охлаждение узла, снизить абразивные воздействия и, как следствие, повысить надёжность функционирования узла в целом.

Список источников

1. Костенко М. Ю. и др. Исследование коррозионных процессов в соединении «низкоуглеродистая сталь-композитный материал» картофелеуборочных машин. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2024;16(1):119-124. DOI: 10.36508/RSATU.2024.58.66.016
2. Жбанов Н. С. и др. Исследования свойств композиционных материалов, применяемых в картофелеуборочных машин. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2020;2(46):69-75. DOI 10.36508/RSATU.2020.94.81.010.

3. Сытин А.В. и др. Расчет характеристик радиального лепесткового газодинамического подшипника с изменяемой геометрией опорной поверхности. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2023;6(362):108-115. DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-108-115

4. Корнаев А.В., Савин Л. А., Казаков Ю. Н. Подшипник скольжения с изменяемой геометрией зазора: моделирование системы управления. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2021;5(349):95-102. DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-95-102

5. Жбанов Н.С. и др. Сравнительный анализ физико-технических характеристик композитных материалов применяемых в картофелеуборочных машинах. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2024;199:51-60. DOI: 10.21515/1990-4665-199-006

6. Рощин М. Н. Подшипник скольжения с углеродосодержащим материалом при высокой температуре. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2023;37:16-19. DOI 10.26160/2474-5901-2023-37-16-19.

7. Zhbanov N.S. et al. Improvement of the working bodies of the harvesting machines by means of the use of composite materials [text]. *BIO Web of Conferences* 17. 2020;191. DOI: 10.1051/bioconf/20201700191

8. Корнаев А.В., Казаков Ю. Н. Подшипник скольжения с изменяемой геометрией зазора: расчет гидродинамических сил. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2021;5(349):С. 74-82. DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-74-82

Вклад авторов: все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Kostenko M. Yu. et al. Research of corrosion processes in the “low carbon steel-composite material” connection of potato harvesters. *Ryazan Agrotech University Bulletin*. 2024;16(1):119-124. (in Russ.). DOI: 10.36508/RSATU.2024.58.66.016
2. Zhbanov N. S. et al. Research of properties of composite materials used in potato harvesting machines. *Ryazan Agrotech University Bulletin*. 2020;2(46):69-75. (in Russ.). DOI 10.36508/RSATU.2020.94.81.010.
3. Sytin A. V. et al. Calculation of the characteristics of the thrust leaf gas dynamic bearing by joint solution of gas dynamics and elasticity theory problems. *Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology*. 2023;6(362):108-115. (in Russ.). DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-108-115
4. Kornaeve A. V., Savin L. A., Kazakov Yu. N. Variable clearance sliding bearing: simulation of a control system. *Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology*. 2021;5(349):95-102. (in Russ.). DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-95-102
5. Zhbanov N. S. et al. Comparative analysis of the physical and technical characteristics of composite materials used in potato harvesters. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2024;199:51-60. (in Russ.). DOI: 10.21515/1990-4665-199-006
6. Roshchin M. N. Sliding bearing with carbon-containing material at high temperature. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2023; 37:16-19. (in Russ.). DOI 10.26160/2474-5901-2023-37-16-19.
7. Zhbanov N.S. et al. Improvement of the working bodies of the harvesting machines by means of the use of composite materials [text]. *BIO Web of Conferences* 17. 2020; 191. DOI: 10.1051/bioconf/20201700191
8. Kornaeve A.V., Kazakov Yu. N. Variable clearance slide bearing: calculation of hydrodynamic forces. *Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology*. 2021; 5(349):74-82. (in Russ.). DOI: 10.33979/2073-7408-2021-349-5-74-82



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

Жбанов Никита Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт», Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, г. Рязань, Россия, zbanovnikita25@gmail.com

Чернышев Алексей Дмитриевич, канд. техн. наук, зав. кафедрой «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт», Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, г. Рязань, Россия, aaa777aa62@yandex

Крысанов Алексей Михайлович, магистрант кафедры «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт», Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, г. Рязань, Россия, alkrysanov02@yandex.ru

Author information

Nikita S. Zhanov, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Construction of Engineering Structures and Mechanics, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia zbanovnikita25@gmail.com

Alexey D. Chernyshev, Cand.Sc. (Engineering), Head of the Department of Construction of Engineering Structures and Mechanics, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia aaa777aa62@yandex

Alexey M. Krysanov, Master's student of the Department of Mechanical Engineering, Power Engineering and Automobile Transport, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia alkrysanov02@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 26.05.2026; одобрена после рецензирования 31.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 26.05.2026; approved after reviewing 31.08.2026; accepted for publication 16.09.2026.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.67:004.94
DOI: 10.36508/RSATU.2026.32.37.015

**СОСТАВ И СТРУКТУРА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ОРОШАЕМОГО ПОЛЯ
ДЛЯ УСЛОВИЙ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ**

Николай Викторович Медведев¹✉, Виктор Владиславович Корсак¹, Анатолий Петрович Солодовников¹, Нина Анатольевна Пронько¹, Татьяна Анатольевна Панкова¹

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», г. Саратов, Россия

✉ kalek15864@gmail.com

Аннотация.

Проблема и цель. На мелиорированных землях Саратовского Заволжья расчет усредненных поливных норм без учета высокой почвенной пространственной неоднородности водно-физических свойств почв ведет к ухудшению мелиоративного состояния (подъем УГВ, риск вторичного засоления), к нерациональному потреблению водных ресурсов и потерям урожайности. Цель исследований – разработать состав и структуру цифрового двойника (ЦД) орошаемого поля, адаптированного к природно-климатическим условиям Саратовского Заволжья.

Методология. Работа базируется на методологии системного анализа, принципах объектно-ориентированного проектирования информационных систем и методах геоинформационного моделирования. Разработанная система, объединяющая технический блок (наземные датчики, метеостанции и т.д.) и блок моделирования процессов (программы оценки и расчета), создает карты пространственного распределения поливных норм по площади орошаемого поля, карты оценки состояния потенциального и эффективного плодородия. Проведение полевых испытаний проводилось на основе общепринятых методик полевого опыта (по Б.А. Доспехову). Расчет и распределение поливных норм производились на основе модифицированного уравнения А.Н. Костякова. Визуализация результатов моделирования выполнялась в виде формирования интерактивных карт распределения поливных норм по площади орошаемого поля.

Результаты исследования. Экспериментальные исследования, проведенные на орошаемом поле (90 га) в УНПО «Поволжье» Энгельсского района Саратовской области на темно-каштановой почве в 2023-2025 годах, подтвердили эффективность внедрения технологий ЦД. Применение технологий ЦД позволило сократить поливную норму на 18 %, с 400 до 328 м³/га. Коэффициент вариации влажности почвы после полива уменьшился с 30 до 8 %.

Заключение. Практическая значимость разработанной архитектуры ЦД заключается в переходе к методам прецизионного земледелия, позволяющим учитывать почвенную пространственную неоднородность условий произрастания поливных культур. Разработанный программный комплекс, адаптированный для природно-климатических условий Саратовского Заволжья, позволил вести рациональное управление водными ресурсами.

Ключевые слова: цифровой двойник, орошаемое поле, прецизионное земледелие, математическое моделирование, поливная норма, алгоритмы расчета, пространственная

Для цитирования: Медведев Н.В., Корсак В.В., Солодовников А.П., Пронько Н.А., Панкова Т.А. Состав и структура цифрового двойника орошаемого поля для условий саратовского Заволжья // Вестник Рязанского государственного аграрно-технологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.144-122 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.32.37.015](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.32.37.015)

Original article

**COMPOSITION AND STRUCTURE OF A DIGITAL TWIN OF AN IRRIGATED FIELD
FOR THE CONDITIONS OF THE SARATOV TRANS-VOLGA REGION**

Nikolay V. Medvedev¹✉, Viktor V. Korsak¹, Anatoly P. Solodovnikov¹, Nina A. Pronko¹, Tatyana A. Pankova¹

¹ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

**Abstract.**

Problem and purpose. On the reclaimed lands of the Saratov Trans-Volga region, calculation of averaged irrigation rates without considering the high soil spatial heterogeneity of water-physical properties leads to deterioration of the reclamation state (groundwater level rise, risk of secondary salinization), irrational consumption of water resources, and yield losses. The purpose of the research is to develop the composition and structure of a digital twin (DT) of an irrigated field adapted to the natural and climatic conditions of the Saratov Trans-Volga region.

Methodology. The work is based on the methodology of system analysis, principles of object-oriented information system design, and methods of geoinformation modeling. The developed system, combining a ground-based segment (irrigated field, ground sensors, weather stations, etc.) and a process modeling block (evaluation and calculation programs), creates maps of the spatial distribution of irrigation rates across the irrigated field area and maps for assessing the state of potential and effective soil fertility. Field testing was carried out based on generally accepted field experiment methodology (according to Dospekhov). Calculation and distribution of irrigation rates were performed using a modified equation of A.N. Kostyakov. Visualization of modeling results was implemented as interactive maps of irrigation rate distribution across the irrigated field.

Research results. Experimental studies conducted on an irrigated field (90 ha) in the UNPO "Povolzhye" (Engelssky district, Saratov Oblast) on dark chestnut soil in 2023-2025 confirmed the effectiveness of DT technology. The application of DT technologies made it possible to reduce the irrigation rate by 18% – from 400 to 328 m³/ha. The coefficient of variation of soil moisture after irrigation decreased from 30 % to 8 %.

Conclusion. The practical significance of the developed DT architecture consists in the transition to precision farming methods that allow taking into account the soil spatial heterogeneity of crop growing conditions. The developed software package, adapted to the natural and climatic conditions of the Saratov Trans-Volga region, enabled rational management of water resources.

Key words: digital twin, irrigated field, precision farming, mathematical modeling, irrigation rate, software, calculation algorithms, spatial heterogeneity

For citation: Medvedev N.V., Korsak V.V., Solodovnikov A.P., Pronko N.A., Pankova T.A. Composition and structure of a digital twin of an irrigated field for the conditions of the Saratov Trans-Volga region // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P. 114-122 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.32.37.015](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.32.37.015)

Введение

Развитие сельского хозяйства и мелиоративного комплекса в РФ является первостепенной задачей для обеспечения продовольственной безопасности страны [4]. Саратовское Заволжье входит в зону аридного климата, где орошение является единственным надёжным способом получения стабильных высоких урожаев, однако эффективность орошаемого земледелия здесь сдерживается тремя группами факторов: высокой пестротой почвенного плодородия, пространственной неоднородностью водно-физических свойств почв и неудовлетворительным мелиоративным состоянием значительной части орошаемых территорий [5].

Сложившаяся практика проведения поливов на мелиорируемых землях Саратовского Заволжья базируется на усреднённых поливных нормах, рассчитываемых на всё поле без учёта выраженной пространственной неоднородности почвенных и гидрогеологических характеристик. Вариабельность основных водно-физических характеристик, гранулометрического состава, содержания гумуса и засоления приводит к тому, что одна и та же поливная норма одновременно оказывается избыточной для тяжелосуглинистых солонцеватых пятен и недостаточной для легкосуглинистых возвышенных участков орошаемых земель. Итогом становятся нерациональное распределение водных ресурсов, подъём уровня минерализованных грунтовых вод и развитие вторичного засоления, формирующие устойчивый тренд деградации мелиорируемых территорий [5,6].

По данным ВолжНИИГиМ, в сухостепной зоне Саратовской области сосредоточено 48 % поливных земель, из которых лишь 70,2 % характеризуются хорошим мелиоративным состоянием, 21,8 % – удовлетворительным и 8 % – неудовлетворительным. Основными проблемами являются подъём уровня грунтовых вод и связанные с ним риски вторичного засоления и осолонцевания почв [6]. На основе этих данных можно сделать вывод о том, что дальнейшая эксплуатация орошаемых земель без принципиального изменения подхода к нормированию поливов будет лишь усугублять эти негативные процессы.

Наиболее рациональным решением, обеспечивающим переход от усреднённого к адаптивному управлению водными ресурсами, является создание цифрового двойника орошаемого поля, объединяющего геопрограммную базу данных состояния почвенного покрова и грунтов зоны аэрации, математическое моделирование и автоматизированное управление в единой комплексной системе [3,7-12]. В соответствии с ГОСТ Р 57700.37–2021 цифровой двойник изделия определяется как система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием или его составными частями [1].

Цель работы – разработать состав и структуру цифрового двойника орошаемого поля для условий Саратовского Заволжья, обеспечивающие дифференцированное управление водными ресурсами с учётом пространственной неоднородности водно-физических свойств почв и апроби-



ровать его в производственных условиях региона.

Материалы и методы исследования

Объект исследований – орошаемое поле площадью 90 га (УНПО «Поволжье» Энгельсского района Саратовской области). Опыт проводился на темно-каштановой почве, почвы по мощности – среднемощные, гранулометрический состав – среднесуглинистые, по мере увеличения глубины почвенного профиля содержание глинистых частиц увеличивается до 36,9 %, содержание гумуса варьируется в диапазоне 2,2-2,8 %. Глубина залегания грунтовых вод 2,8-4,2 м, минерализация 2,4-3,6 г/л. Период проведения исследований 2023-2025 гг.

Методологическая база исследования включает системный анализ, принципы объектно-ориентированного проектирования информационных систем и методы геоинформационного моделирования, объектно-ориентированного программирования и полевого опыта по Б.А. Доспехову [2].

Сравнение эффективности внедрения технологии ЦД проводили методом прямого сопоставления двух участков: контрольного (30 га), орошаемого по традиционным методам с назначением единой поливной нормы 400 м³/га, и опытного (60 га), полив на котором осуществлялся на основе расчета программы пространственного распределения поливных норм ЦД. Опыт проводился в трехкратной повторности.

Структура цифрового двойника орошаемого поля состоит из трех основных блоков: технический блок, блок моделирования процессов и блок хранения данных и взаимодействия (рис.1).

Технический блок включает в себя информационные модели устройств получения данных о состоянии гидромелиоративно значимых природных компонентов орошаемого поля (lot-устройства, метеостанция, места отбора проб) и средств воздействия на эти компоненты (дождевальная техника)

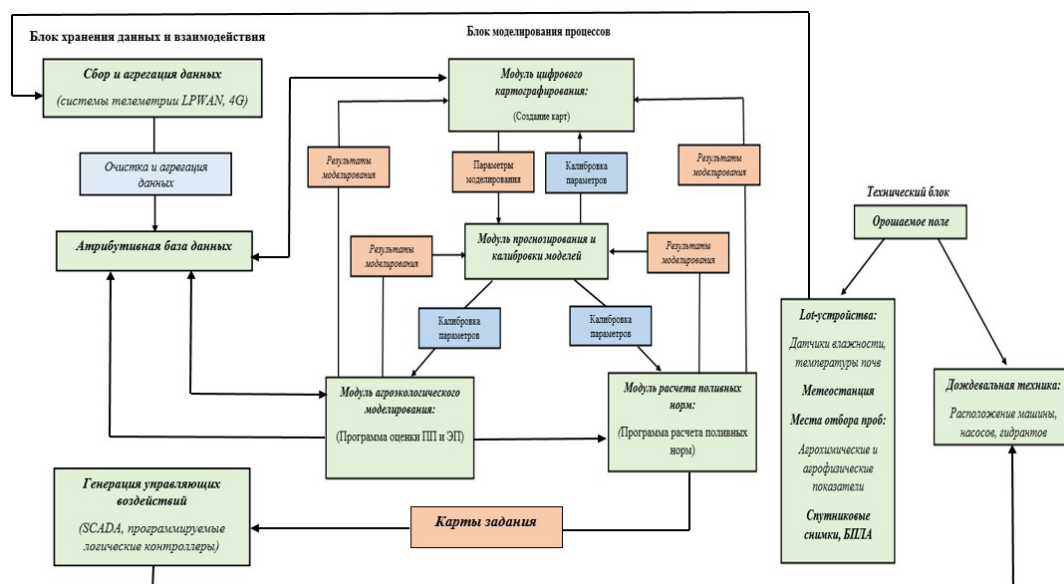


Рис. 1 – Структура цифрового двойника орошаемого поля

Fig. 1 – Structure of the digital twin of an irrigated field

Таблица 1 – Состав технического блока ЦД орошаемого поля

Элементы	Модель	Количество	Измеряемые параметры	Период получения данных
Lot-устройства	Kaipos	10	Объемная влажность, температура почвы (10, 30, 50, 70 см)	1 час (с осреднением по времени и глубине расчетного слоя)
Метеостанция	Сокол-М	1	Температура воздуха в °С, сумма осадков в мм, относительная влажность воздуха в %	3 часа (с осреднением по времени – среднесуточные)
Места отбора проб	-	10	Агрохимические (гумус, NPK, ЕКО) и агрофизические показатели (гранулометрический состав, плотность сложения и твердой фазы, наименьшая влагоемкость, скорость впитывания)	В начале и конце сезона



БПЛА	DJI Phantom 4 RTK	1	Спектральные вегетационные индексы, цифровая модель рельефа с разрешением 5 см	Каждые 7-10 суток
Спутниковые снимки	Sentinel-2	-	Спектральные вегетационные индексы	5 суток
Дождевальная техника	Zimmatic	1	Дата полива и фактическая поливная норма	После каждого полива

Блок моделирования процессов представляет собой комплекс взаимосвязанных математических моделей и алгоритмов, воспроизводящих поведе-

ние физического объекта, его состав представлен на рисунке 2.

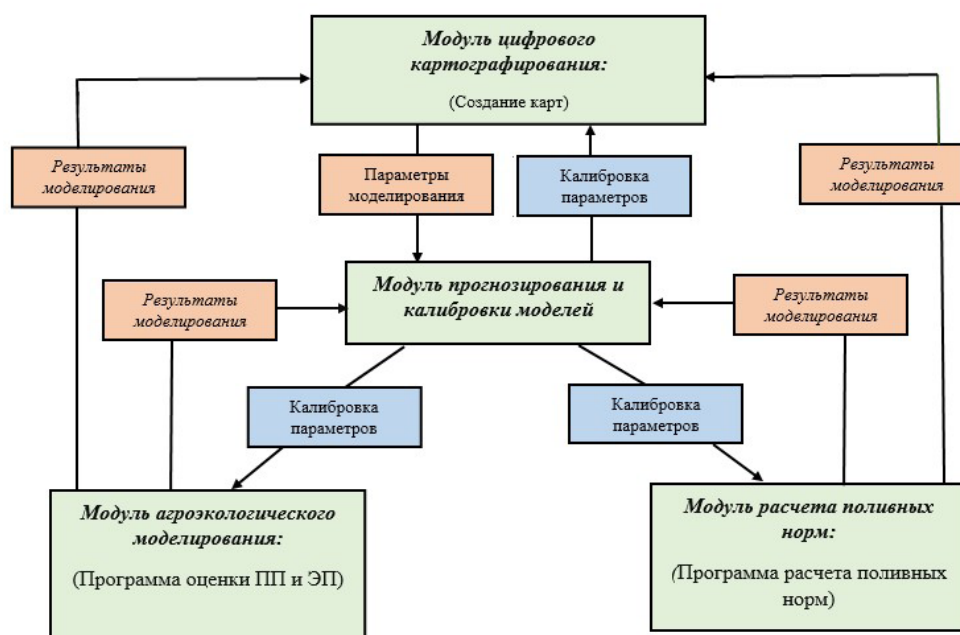


Рис. 2 – Состав блока моделирования процессов ЦД
Fig. 2. – Composition of the process modeling block of the digital twin

В его состав входят:

Модуль цифрового картографирования – создание и актуализация цифровых карт полей на основе данных ДЗЗ, БПЛА и наземных съемок.

Модуль цифрового картографирования формирует и непрерывно актуализирует пространственно-привязанную основу цифрового двойника, объединяя данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), данные, полученные с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и наземных инструментальных съёмок. Входными потоками служат мультиспектральные снимки Sentinel-2 (пространственное разрешение 10 м, периодичность 5 суток), цифровая модель рельефа, полученная с БПЛА (разрешение до 5 см), а также результаты наземного агрохимического обследования (геопривязанные точечные пробы).

Результатом работы модуля является набор актуализируемых цифровых карт, образующих базовые слои атрибутивной базы данных: карта почвенных разностей и гранулометрического со-

става, карта содержания основных элементов питания (азот, фосфор, калий) и гумуса, карта водно-физических свойств (НВ, ВЗ, плотность, коэффициент фильтрации), цифровая модель рельефа с производными (уклоны, экспозиция).

Модуль агроэкологического моделирования – моделирование распределения состояния потенциального и эффективного плодородия.

В рамках ЦД плодородие рассматривается не как статичная величина, а как динамическая система, разделенная на два ключевых блока: потенциальное и эффективное плодородие.

Расчет потенциального плодородия. Потенциальное плодородие отражает устойчивые во времени свойства почвы, сформированные в процессе почвообразования и мало изменяющиеся под влиянием текущей агротехники. Для условий Саратовского Заволжья ключевыми факторами потенциального плодородия являются: гранулометрический состав, содержание гумуса, емкость катионного обмена, степень засоления и осолон-



цевания, а также гидрогеологические условия (глубина залегания уровня грунтовых вод). Индекс потенциального плодородия рассчитывается по формуле (1):

$$PFI = \omega_1 \times H_{\text{норм}} + \omega_2 \times T_{\text{норм}} + \omega_3 \times CEC_{\text{норм}} + \omega_4 \times S_{\text{норм}} + \omega_5 \times D_{\text{норм}} \quad (1)$$

где: $H_{\text{норм}}$ – нормированное содержание гумуса в пахотном слое (%);

$T_{\text{норм}}$ – нормированный гранулометрический состав (содержание физической глины, частиц <0,01 мм, %);

$CEC_{\text{норм}}$ – нормированная емкость катионного обмена (мг-экв/100 г почвы);

$S_{\text{норм}}$ – нормированный показатель степени засоления;

$D_{\text{норм}}$ – нормированный показатель глубины залегания грунтовых вод (УГВ), м;

ω_i – коэффициенты PFI, отражающие вклад каждого фактора в потенциальное плодородие (задаются экспертно), должны удовлетворять условие: $\sum \omega_i = 1$.

Расчет эффективного плодородия. Эффективное плодородие характеризует текущее состояние питательного режима почв, влагообеспеченности, которое может быть быстро изменено под воздействием агротехнических мероприятий (внесение удобрений, поливы). Для его расчета используются показатели, динамичные во времени. Расчет индекса эффективного плодородия производится по формуле (2):

$$EFI = v_1 \times N_{\text{норм}} + v_2 \times P_{\text{норм}} + v_3 \times K_{\text{норм}} + v_4 \times W_{\text{норм}} \quad (2)$$

где: $N_{\text{норм}}$ – нормированное содержание нитратного азота ($N-NO_3$) мг/кг.

$P_{\text{норм}}$ – нормированное содержание подвижного фосфора (P_2O_5) мг/кг.

$K_{\text{норм}}$ – нормированное содержание обменного калия (K_2O) мг/кг.

$W_{\text{норм}}$ – нормированные запасы продуктивной влаги в метровом слое (мм).

v_i – коэффициенты EFI, отражающие вклад каждого фактора в эффективное плодородие (задаются экспертно).

Данный модуль представляет собой комплексный подход к управлению плодородием почв орошаемого поля, переходя от простой визуализации к глубокому пространственному анализу и формированию конкретных рекомендаций. Интеграция с ЦД позволяет не только отслеживать текущее состояние, но и прогнозировать его изменения, оптимизировать использование ресурсов и повышать урожайность. Выходными данными модуля агроэкологического моделирования являются: растровые карты пространственного распределения каждого показателя плодородия (гумус, N, P, K), карта

управляющих зон для дифференцированного внесения удобрений.

Модуль прогнозирования и калибровки моделей – прогнозирование временных рядов, выявление аномалий, адаптивная калибровка моделей.

Модуль прогнозирования и калибровки моделей обеспечивает адаптивность ЦД к изменяющимся условиям окружающей среды и накопление статистических данных для повышения точности прогнозов. Функционально модуль решает три задачи: краткосрочное и среднесрочное прогнозирование временных рядов, выявление аномалий в данных мониторинга и автоматическую калибровку параметров расчётных моделей.

Модуль расчета поливных норм – многокритериальная оптимизация режимов орошения.

В основу модуля расчета пространственного распределения поливных норм по площади орошаемого поля положена модифицированная формула А.Н. Костякова, представленная в виде функции координат (x, y) для каждой элементарной ячейки поля (3):

$$m(x, y) = 100 \times h_{(x,y)} \times \gamma_{(x,y)} \times (W_{\text{нв}(x,y)} - W_{\text{факт}(x,y)}) \quad (3)$$

где: m – поливная норма, м³/га;

h – глубина расчетного слоя почвы, м;

γ – плотность сложения почвы, г/см³;

(x, y) – координаты конкретного участка поля;

$W_{\text{нв}}$ – влажность, соответствующая наименьшей влагоемкости почвы, % от массы;

$W_{\text{факт}}$ – динамический параметр влажности, зависящий от времени (t), получаемый путем интерполяции данных с датчиков влажности и спутниковых снимков.

Выходные данные модуля: пространственная карта распределения поливных норм. Растровое изображение или векторные полигоны с указанием требуемой нормы полива (в мм или м³ на га) для каждой ячейки поля.

В единой системе четыре описанных модуля образуют замкнутый информационный контур, обеспечивающий непрерывную актуализацию данных, моделирование ключевых агрофизических процессов, прогнозирование и адаптивную калибровку моделей, а также выработку и исполнение оптимальных управляющих решений по дифференцированному орошению.

Блок хранения данных и взаимодействия обеспечивает двунаправленный обмен данными между техническим блоком и блоком моделирования процессов. Он включает системы телеметрии (LPWAN, 4G), атрибутивную базу данных и блок генерации управляющих воздействий.

Разработанная структура ЦД орошаемого поля соответствует определению полноценного цифрового двойника, предполагающего двунаправленный автоматический обмен данными между физическим объектом и его цифровой моделью.

Алгоритм работы ЦД орошаемого поля представлен на рисунке 3.

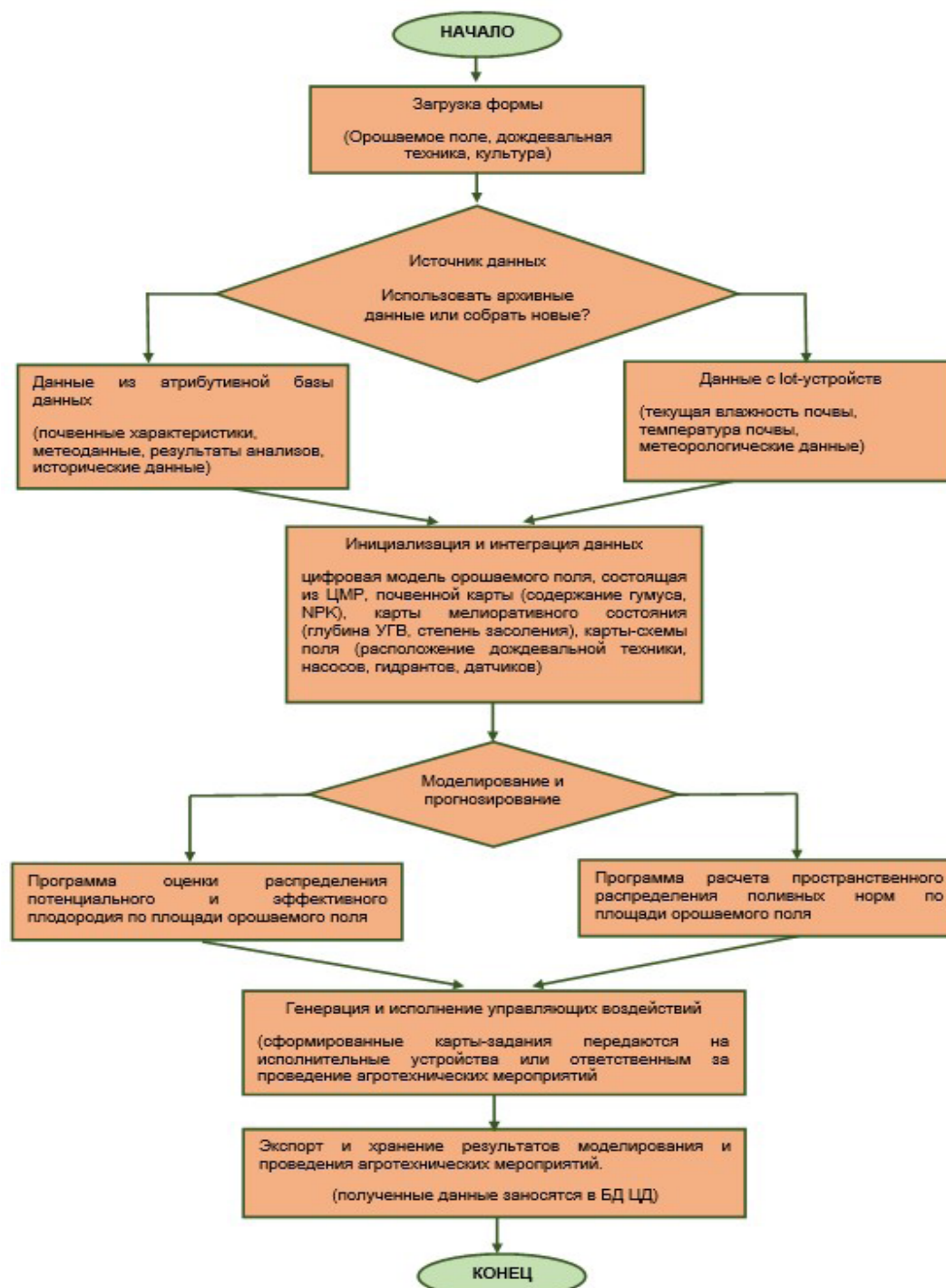


Рис. 3 – Алгоритм работы цифрового двойника орошаемого поля
Fig. 3. – Operation algorithm of the digital twin of an irrigated field

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты полевых испытаний подтвердили высокую степень пространственной неоднородности почвенных свойств орошаемого поля (табл. 2). Наименьшая влагоёмкость в корнеобитаемом слое варьировала от 22,1 до 29,9 % массы, плотность сложения почвы от 1,21 до 1,44 г/см³, содержание гумуса от 2,2 до 2,8 %. На основе полученных данных делаем вывод о том, что традиционные методы расчета средних полив-

ных норм на поле являются неэффективными.

Результаты агрохимических (гумус, NPK) и агрофизических (гранулометрический состав, плотность сложения твердой фазы, наименьшая влагоёмкость, влажность завядания) анализом показывают, что средние значения основных показателей плодородия находятся в пределах, благоприятных для возделывания сельскохозяйственных культур. Однако диапазоны измеряемых параметров показывают значительную простран-



ственную неоднородность условий произрастания поливных культур: гумус варьировал от 2,2 до 2,8 %, фосфор – от 51 до 196 мг/кг, калий – от 152 до 367 мг/кг, НВ – от 22,1 до 29,9 (табл. 2). Полученные данные подтверждают необходимость перехода к дифференцированному управлению водными ресурсами и элементами минерального питания на основе технологий ЦД, способного учитывать внутривидовую пестроту почвенного плодородия.

Сравнительные результаты исследования (2023-2025 гг.) представлены в таблице 3. Применение технологий ЦД позволило сократить поливную норму на 18 %, с 400 до 328 м³/га. Основная экономия достигнута за счёт исключения поливов на участках, где влажность оставалась выше порога 70 % НВ (понижения, тяжелосуглинистые солонцеватые пятна с низкой водопроницаемостью), а также за счёт точного дозирования на лёгких почвах, где норма увеличивалась, но общий объём уменьшался благодаря отсутствию пере-поливов.

Пространственная равномерность увлажнения после полива имеет положительный эффект: коэффициент вариации влажности в корнеобитаемом слое снизился с 30 % на контрольном участке, до 8 % на опытном участке. Статистический анализ показал, что распределение влажности на опыте достоверно ($p < 0,01$) отличается от контрольного, а разброс значений вписывается в допустимый диапазон 70-90 % НВ.

Таблица 2 – Вариация почвенных свойств опытного участка орошаемого поля УНПО «Поволжье» (в среднем за 2023-2025 гг.)

Показатель	Диапазон варьирования	Среднее значение	Коэффициент вариации в %
Гумус %	2,2-2,8	2,5	10
P ₂ O ₅ мг/кг	51-196	123,5	40
K ₂ O мг/кг	152-367	259,5	30
Плотность сложения г/см ³	1,21-1,44	1,32	6
НВ % массы	22,1-29,9	26	12
ВЗ % массы	9,1-12,0	10,6	12

Применение технологии ЦД позволило исключить переувлажнение на участках понижения рельефа и, как следствие, за три года наблюдений не отмечено ни одного случая подъёма уровня грунтовых вод на опытном участке, в то время как на контрольном поле уровень в понижениях поднялся в среднем на 0,3 м. Содержание водорастворимых солей в слое 0-50 см опытного поля

осталось на безопасном уровне (плотный остаток 0,08-0,15 %), тогда как на контроле в отдельных точках оно достигло 0,25-0,40 %.

Таблица 3 – Сравнительные результаты орошения на контрольном и опытном участках (среднее за 2023–2025 гг.)

Показатель	Контрольный участок	Опытный участок	Изменение
Поливная норма м ³ /га	400	328	- 18 %
Коэффициент вариации влажности после полива %	30	8	- 22
Среднее время формирования карты задания на полив, мин	-	10	-
Экономия оросительной воды на га, м ³ /га	-	72	- 18 %
Общая экономия оросительной воды, тыс. м ³ /га	-	4,32	- 18 %

Заключение

Разработан и апробирован цифровой двойник орошаемого поля для условий Саратовского Заволжья, структура которого включает три функциональных блока: технический блок (сеть IoT-устройств, метеостанция, места отбора проб), блок моделирования процессов (программа расчета ПП и ЭП, программа расчета пространственного распределения поливных норм), блок хранения данных и взаимодействия (атрибутивная база данных). Данный подход обеспечивает рациональное потребление водных ресурсов и поддержание мелиоративного состояния орошаемых почв.

Трехлетние полевые испытания технологий ЦД (2023-2025 гг.) на темно-каштановых почвах опытного поля (90 га) УНПО «Поволжье» Энгельсского района наглядно доказали высокую эффективность ЦД. В сравнении с традиционными методами управления водными ресурсами достигнуты следующие результаты: снижение поливной нормы на 18 % (с 400 до 328 м³/га), повышение равномерности увлажнения (коэффициент вариации влажности после полива снизился с 30 до 8 %), поддержание мелиоративного состояния.

Практическая значимость исследования заключается в создании готового к внедрению программно-аппаратного комплекса, который может быть интегрирован с широкозахватной дождевальной техникой, поддерживающей технологию VRI. Применение технологий ЦД позволит хозяйствам Саратовского Заволжья и аналогичных по климату регионов перейти к прецизионному орошению без



капитальной замены оросительной сети.

Список источников

- ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2021 г. № 979-ст: введен впервые: дата введения 2022-01-01. – Москва: Российский институт стандартизации, 2021. – 23 с.
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 6-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2019. – 351 с.
- Зверьков М. С., Брыль С.В. Нормативные и методические аспекты и пример создания цифрового двойника гидромелиоративной системы с использованием данных дистанционного мониторинга. *International Agricultural Journal*. 2022;65:3. DOI 10.55186/25876740_2022_6_3_24.
- Колганов А. В., Масный Р. С., Балакай Г. Т. Потенциал мелиорированных земель России. *Мелиорация и гидротехника*. 2026;16(1):1–18. DOI 10.31774/2712-9357-2026-16-1-1-18.
- Панкова Т. А. и др. Адаптивное нормирование орошением. *Природообустройство*. 2023;2:28–35. DOI 10.26897/1997-6011-2023-2-28-35.
- Шадских В. А., Кизжаева В. Е., Романова Л. Г. Эколого-мелиоративные аспекты использо-

вания орошаемых земель Саратовской области. *Экология и строительство*. 2020;2:58–65. DOI 10.35688/2413-8452-2020-02-008.

- Aghaabbasi M., Ganjouei F. A. Prospects of Digital Twin Systems for Smart Irrigation: A Comprehensive Review. *Water Conservation Science and Engineering*. 2026;11(1):1–26. DOI 10.1007/s41101-025-00330-3.
- Subeesh A., Chauhan N. Agricultural digital twin for smart farming: A review. *Green Technologies and Sustainability*. 2026;4(2):100299. DOI 10.1016/j.grets.2025.100299.
- M. Awais [et al.] Advancing Precision Agriculture Through Digital Twins and Smart Farming Technologies: A Review. *AgriEngineering*. 2025;7(5):137. DOI 10.3390/agriengineering7050137.
- Nasirahmadi A., Hensel O. Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin technology. *Agriculture*. 2022;12(3):430. DOI 10.3390/agriculture12030430.
- Pylianidis C., Osinga I., Athanasiadis N. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021;184:105942. DOI 10.1016/j.compag.2021.105942.
- Qin M., Zhang C., Ma G. et al. Digital twin-enabled intelligent irrigation-drainage system for precision water-salt management in saline agroecosystems. *Agricultural Water Management*. 2025;322:109957. DOI 10.1016/j.agwat.2025.109957.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References

- GOST R 57700.37–2021. Computer models and modeling. Digital twins of products. General provisions. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021, 23 p. (In Russ).
- Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of field experiment (with basics of statistical processing of research results)]. 6th ed. Moscow: Al'yans, 2019:351. (In Russ).
- Zver'kov M. S., Bryl' S. V. Normative and methodological aspects and an example of creation of the irrigation and drainage system's digital twin using data of the earth remote sensing. *International Agricultural Journal*. 2022;65:3. (In Russ). DOI 10.55186/25876740_2022_6_3_24.
- Kolganov A. V., Masny R. S., Balakai G. T. The reclaimed land potential in Russia. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering* 2026;16(1):1–18. (In Russ). DOI: 10.31774/2712-9357-2026-16-1-1-18.
- Pankova T. A. et al. Adaptive irrigation rationing Prirodoobustroystvo = Environmental Engineering. 2023;2:28–35. (In Russ). DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-28-35. EDN: XZDYIG.
- Shadskikh V. A., Kizhaeva V. E., Romanova L. G. Ecological and reclamation aspects of the use of irrigated land in Saratov Region. *Ekologiya i stroitel'stvo = Ecology and Construction*. 2020;2:54–60. (In Russ). DOI: 10.35688/2413-8452-2020-02-008.
- Aghaabbasi M., Ganjouei F. A. Prospects of Digital Twin Systems for Smart Irrigation: A Comprehensive Review. *Water Conservation Science and Engineering*. 2026;11(1):1–26. DOI 10.1007/s41101-025-00330-3.
- Subeesh A., Chauhan N. Agricultural digital twin for smart farming: A review. *Green Technologies and Sustainability*. 2026;4(2):100299. DOI 10.1016/j.grets.2025.100299.
- M. Awais [et al.] Advancing Precision Agriculture Through Digital Twins and Smart Farming Technologies: A Review. *AgriEngineering*. 2025;7(5):137. DOI 10.3390/agriengineering7050137.
- Nasirahmadi A., Hensel O. Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin technology. *Agriculture*. 2022;12(3):430. DOI 10.3390/agriculture12030430.
- Pylianidis C., Osinga I., Athanasiadis N. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021;184:105942. DOI 10.1016/j.compag.2021.105942.
- Qin M., Zhang C., Ma G. et al. Digital twin-enabled intelligent irrigation-drainage system for precision water-salt management in saline agroecosystems. *Agricultural Water Management*. 2025;322:109957. DOI 10.1016/j.agwat.2025.109957.



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

Медведев Николай Викторович, аспирант кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», г. Саратов, Россия kalek15864@gmail.com

Корсак Виктор Владиславович, д-р с.-х. наук, профессор кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», г. Саратов, Россия vvcorsac@rambler.ru

Солодовников Анатолий Петрович, д-р с.-х. наук, профессор кафедры «Земледелие, мелиорация и агрохимия» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», г. Саратов, Россия solodovnikov-sgau@yandex.ru

Пронько Нина Анатольевна, д-р с.-х. наук, профессор кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», г. Саратов, Россия n_pronko@mail.ru

Панкова Татьяна Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», г. Саратов, Россия vtanja@mail.ru

Author Information

Nikolay V. Medvedev, Postgraduate Student, Department of Hydromelioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia kalek15864@gmail.com

Viktor V. Korsak, D.Sc. (Agriculture), Associate Professor, Professor of the Department of Hydromelioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia vvcorsac@rambler.ru

Anatoly P. Solodovnikov, D.Sc. (Agriculture), Professor of the Department of Agriculture, Land Reclamation and Agrochemistry, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia solodovnikov-sgau@yandex.ru

Nina A. Pronko, D.Sc. (Agriculture), Professor of the Department of Hydromelioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia n_pronko@mail.ru

Tatyana A. Pankova, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Hydromelioration, Environmental Engineering and Construction in the Agro-Industrial Complex, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia vtanja@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.06.2026; одобрена после рецензирования 10.07.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 16.06.2026; approved after reviewing 10.07.2026; accepted for publication 16.09.2026.





Вестник РГТУ, 2026, т.18, №3, с.123-130
Vestnik RGATU, 2026, Vol.18, №3, pp 123-130

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.559.2
DOI: 10.36508/RSATU.2026.73.38.016

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА НА ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Максим Александрович Мосяков

ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

✉ Maks.Mosyakov@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Несмотря на повышение технического уровня сельскохозяйственных машин, проблема полной реализации биологического потенциала растений остается нерешенной. Для отрасли свекловодства важно определить производственный биологический потенциал растений, чтобы можно было контролировать его реализацию в условиях хозяйств при внедрении современной техники и технологий. За уровень потенциала целесообразно взять, например, урожайность культуры, с которой она выращивается на высоком агрофоне при соблюдении всех правил агротехники. Разница между фактически достигнутым и потенциально возможным урожаями составляет потери. Сокращение этой разницы – главная задача повышения урожайности. Резервы для повышения урожайности сахарной свёклы остаются очень высокими.

Методология. Основой методологии исследования является анализ научных работ и технических решений.

Результаты. Сравнение и анализ урожайности сахарной свёклы показали, что за последние десять лет полнота использования биологического потенциала при выращивании составляет около 65-70 %. Районированные гибриды сахарной свёклы имеют потенциальную урожайность 74-79 т/га, урожайность в производственных условиях по данным Союзроссахара составляет в среднем 40,9 т/га.

Заключение. Применение сеялок точного высева, оснащенных электроприводом и механизмами для регулировки диаметров высевающих дисков, существенно повысит точность закладки семян – до 95 %. Кроме того, такие аппараты позволяют сократить время на подготовительные работы и уменьшить необходимость частой замены высевающих дисков. Обоснование основных технических параметров и разработка схемы моделирования процесса высева создают предпосылки для совершенствования конструкции адаптивного высевающего аппарата и последующей разработки его опытно-экспериментального образца.

Ключевые слова: семена сахарной свёклы, высевающий аппарат, биологический потенциал, электропривод, повышение качества высева

Для цитирования: Мосяков М. А. Разработка адаптивного высевающего аппарата на электроприводе // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.123-130 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.73.38.016>

Original article

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE SEEDING UNIT WITH AN ELECTRIC DRIVE

Maxim A. Mosyakov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

✉ Maks.Mosyakov@yandex.ru

Abstract.

Problem and purpose Despite technological advances in agricultural machinery, the problem of full realizing the biological potential of plants remains unresolved. For the sugar beet industry, it is important to determine the productive biological potential of plants so that its implementation can be monitored on-farm when modern equipment and technologies are introduced. For example, potential can be measured by the yield of a crop grown under high agricultural conditions, while adhering to all agricultural practices. The difference between actual and potential yields represents losses. Reducing this difference is the primary goal of increasing yields.



Potential for increasing sugar beet yields remains very high.

Methodology. The basis of the research methodology is the analysis of scientific works and technical solutions.

Results. Comparison and analysis of sugar beet yields have shown that over the past ten years, the full utilization of biological potential during cultivation has been approximately 65–70%. Zoned sugar beet hybrids have a potential yield of 74–79 t/ha, while yields under production conditions, according to the Soyuzsrossakhar (Russian Sugar Union), average 40.9 t/ha.

Conclusion. The use of precision seeders equipped with electric drives and mechanisms for adjusting the diameters of the seeding discs will significantly increase the accuracy of seed placement – up to 95%. In addition, such devices make it possible to reduce the time required for preparatory work and decrease the need for frequent replacement of seeding discs. The justification of the main technical parameters and the development of a scheme for modeling the seeding process create the prerequisites for improving the design of an adaptive seeding device and the subsequent development of its experimental prototype.

Key words: sugar beet seeds, seeding unit, biological potential, electric drive, improving seeding quality

For citation: Mosyakov M. A. Development of an adaptive seeding unit with an electric drive // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P.123-130 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.73.38.016>

Введение

Одной из актуальных задач остается повышение эффективности конструктивного исполнения современных машин, применяемых для посева пропашных культур (например, сахарной свеклы). В зависимости от принятой технологической схемы для посева применяют сеялки различных типов – механические, пневматические, пневмомеханические и другие, оснащенные бороздора-скрывающими рабочими органами разного исполнения: килевидными, анкерными, полозовидными сошниками, а также сошниками двойного дискового типа. При этом заделка семян производится на глубину 2–4 см с равномерным распределением по ширине и глубине борозды, а допустимое отклонение при этом не должно превышать $\pm 0,5$ см, что повышает всхожесть и урожайность.

Посев должен осуществляться при высоких требованиях к герметичности соединений высевающего аппарата, а также при повышенной чувствительности к внешним условиям [1] из-за сложности конструкции высевающего аппарата и системы управления.

Данное обстоятельство приводит к чрезмерному повышению нормы высева семян, снижению фактической всхожести и, как результат, к нестабильным эксплуатационным характеристикам техники. Вследствие этого растут издержки производства, снижается качество урожая, происходит уплотнение и деградация почвы, а также загрязнение воды, что в совокупности ограничивает урожайность сахарной свеклы и препятствует устойчивому развитию сельского хозяйства.

Технология точного посева семян сахарной свеклы предъявляет строгие требования к автоматизации и интеллектуальности оборудования. Однако большинство машин для высокоточного посева семян остаются на экспериментальной стадии, и ни одно эффективное или практичное оборудование не получило широкого распространения в полевых условиях.

Следовательно, для устранения выше указанных проблем, таких как нестабильная ширина и глубина посева семян сахарной свеклы, низкая эффективность оборудования для посева, необходимо обеспечить разработку высевающего аппарата, обеспечивающего равномерную подачу

семян сахарной свеклы на дно борозды при единичной подаче семени [2].

Цель исследований: разработка адаптивного высевающего аппарата на электроприводе.

Материалы и методы

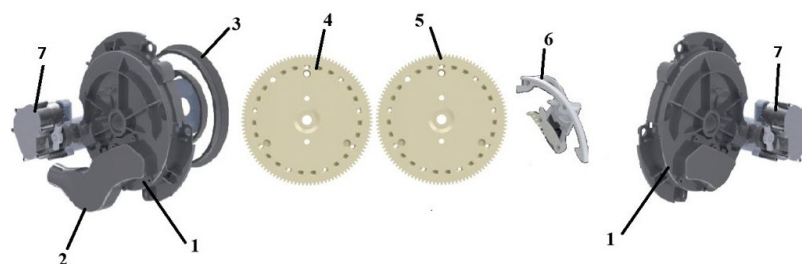
В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработан адаптивный высевающий аппарат на электроприводе для посева инкрустированных и дражированных семян сахарной свеклы (Патент № 2853831 С1 Российская Федерация, МПК А01С 7/04, А01С 7/00. Пневматический высевающий аппарат вакуумного действия / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, М. А. Мосяков [и др.] ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». - № заявки (если известен). - Заявл. 20.11.2025. - Оpubл. 26.12.2025), обеспечивающий изменение диаметра ячейки высевающего диска в соответствии с фракционным размером высеваемых семян. Электропривод позволит реализовать более гибкую компоновку рабочих органов, упростить кинематические связи и автоматизировать процесс работы высевающего аппарата, а также обеспечить более плавное регулирование скорости вращения высевающего диска [3].

Конструктивная схема адаптивного высевающего аппарата на электроприводе для посева инкрустированных и дражированных семян сахарной свеклы приведена на рисунке 1.

Вращение адаптивного высевающего аппарата на электроприводе осуществляется от шагового электродвигателя, питание которого выполняется от бортовой системы энергосредства напряжением $U=12В$. Внутреннее разрежение в пневматическом барабане формируется с помощью вентилятора, получающего энергию от вала отбора мощности [4].

Пневматический вакуумный высевающий аппарат с системой регулировки диаметров отверстий диска работает по следующему принципу.

Во время посева адаптивный электроприводной аппарат способен использовать разные виды семян сахарной свеклы: нативные, калиброванные, а также дражированные. Диаметр отверстий высевающих дисков варьируется в диапазоне от 1,7 до 7 мм. Обычно отверстия выбираются в диапазоне от 3,5–4,75 мм и 4,75–5,5 мм.



1 – корпус; 2 – семенная камера; 3 – вакуумная камера; 4 – основной высеваящий диск; 5 – вспомогательный высеваящий диск; 6 – сбрасыватель «лишних» семян; 7 – электропривод
 Рис. 1 – Модель адаптивного высеваящего аппарата на электроприводе
 1 – body; 2 – seed chamber; 3 – vacuum chamber; 4 – main sowing disc; 5 – auxiliary sowing disc; 6 – dumper of "excess" seeds; 7 – electric drive

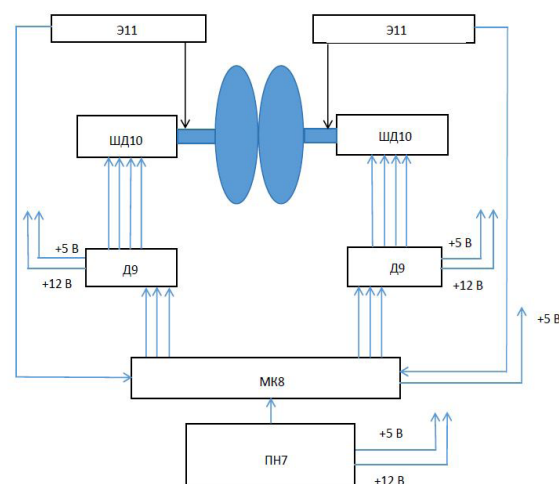
Fig. 1 – Model of an adaptive seeding machine on an electric drive

Чтобы расширить функциональные возможности аппарата, была разработана конструкция вакуумного пневматического высеваящего устройства с системой регулировки диаметров отверстий диска. Семенной материал из бункера поступает в пневматический аппарат. Внутри корпуса (1) семена, размещённые в семенной камере (2), за счёт разрежения, формируемого в вакуумной камере (3), притягиваются по одному либо по несколько штук к каждому из отверстий высеваящего диска (4). По мере вращения диска сбрасыватель избыточных семян (6) оставляет в каждом отверстии только по одному семени. Привод основного (4) и вспомогательного (5) дисков осуществляется при помощи шаговых двигателей (ШД10), управляемых драйверами (Д9), получающими сигналы от микроконтроллера (МК8). Микроконтроллер (МК8) получает питание от преобразователя напряжения (ПН7), подключенного к бортовой электросети трактора (рис. 2).

Для посева разных видов и размеров семян, особенно пропашных культур, положение вспомогательного диска (5) регулируется относительно основного (4). Эта настройка осуществляется из кабины трактора [2]. Микроконтроллер (МК8), связанный с драйверами (Д9) и исполнительными механизмами (Э11) (рис. 2), обеспечивает синхронизацию вращения и позиционирование дисков после изменения их положения. Рабочие поверхности дисков (4) и (5) расположены с минимальным зазором относительно друг друга, при этом отверстия на обоих дисках имеют одинаковые диаметры и одинаковый шаг расположения. Смещение вспомогательного диска (5) относительно основного диска (4) изменяет степень перекрытия отверстий и, соответственно, эффективный размер проходного отверстия. Вспомогательный диск (5) может изготавливаться, в частности, из композитного материала. Величина разрежения для удержания семян на поверхности высеваящего диска составляет от 2,5 до 6,0 кПа в зависимости от вида семенного материала. Регулирование положения вспомогательного диска позволяет адаптировать эффективный размер проходных отверстий к используемому семенному материалу при сохранении требуемого уровня разрежения для его устойчивого удержания. Вращение дисков осуществляется

в одном направлении и с одинаковой скоростью.

Возможность регулирования эффективного размера проходных отверстий за счёт изменения взаимного положения дисков (4) и (5) позволяет использовать данный аппарат для посева семян различных культур и размерных фракций без замены основного высеваящего диска. Каждый модуль тщательно спроектирован и параметризован для обеспечения инженерной реализуемости результатов моделирования. Модель основана на ранее установленной передаточной функции динамики посевной машины, учитывающей фактические характеристики шагового двигателя. Система моделирования процесса посева семян сахарной свеклы, интегрированная с системой синхронного управления на электроприводе, включает в себя следующие модули: ввода опорных данных; возмущений; расчета погрешности; контроллера; управляемого объекта; вывода.



Э11 – абсолютный энкодер; ШД10 – шаговый двигатель; Д9 – драйвер двигателя; МК8 – микрокомпьютер; ПН7 – преобразователь напряжения

Рис. 2 – Схема системы моделирования процесса посева семян сахарной свёклы

E11 – absolute encoder; SD10 – stepper motor; D9 – motor driver; MK8 – microcomputer; PN7 – voltage converter

Fig. 2 – Scheme of the system for modeling the process of sowing sugar beet seeds



Для функционирования системы была разработана «Программа для управления пневматическим высевальным аппаратом вакуумного действия» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026610737. Российская Федерация. Программа для управления пневматическим высевальным аппаратом вакуумного действия / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, М. А. Мосяков [и др.] ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». - Заявл. 23.12.2025. - Оpubл. 15.01.2026). Система выполняет расчёт требуемого углового смещения на основании

данных, поступающих от оператора, затем переводит полученное значение в соответствующее число импульсов энкодера и на этой основе формирует решение о дальнейших действиях. В соответствии с принятым решением осуществляется корректировка положения вспомогательного диска относительно основного, после чего это положение фиксируется, и оба диска запускаются в режиме синхронизированного вращения. При обнаружении отклонений система выполняет их автоматическую коррекцию, обеспечивая тем самым стабильную работоспособность аппарата [5]. Алгоритм функционирования устройства представлен на рисунке 3.

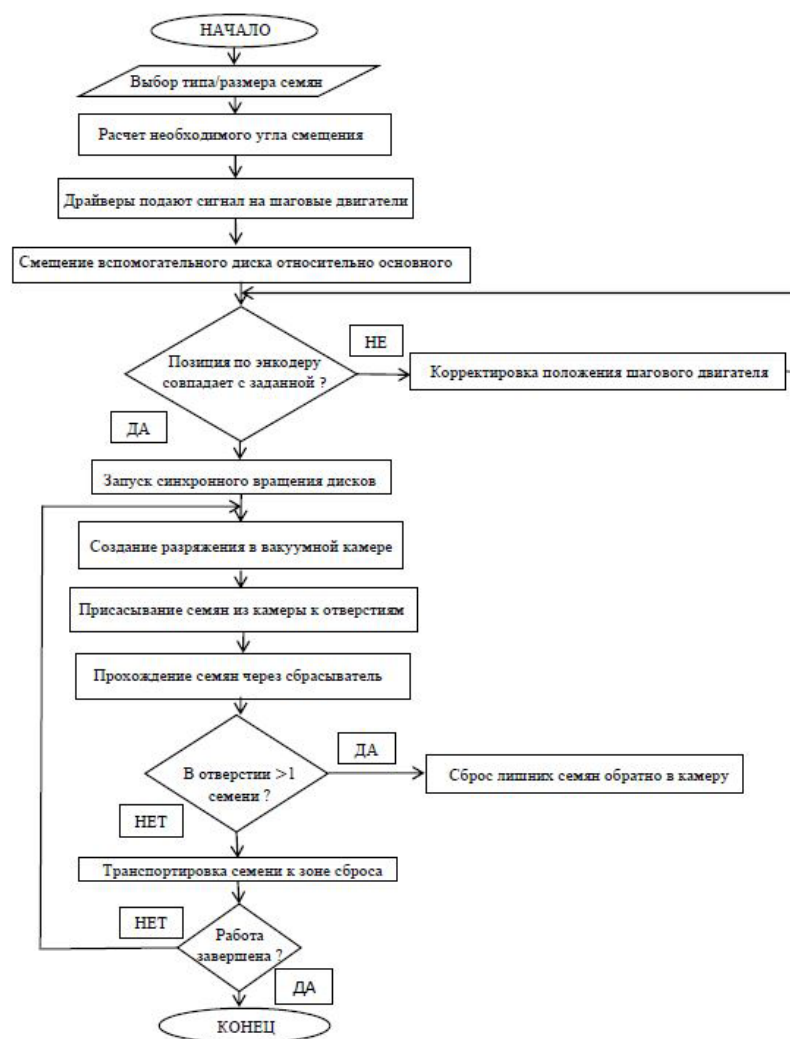


Рис. 3 – Алгоритм работы высевального аппарата
Fig. 3 – The operating algorithm of the seeding machine

Алгоритм функционирования интегрированной системы посева семян сахарной свеклы высевальным аппаратом на электроприводе обеспечивает функцию адаптивного к скорости дозирования семян, что при изменении рабочей скорости посевной машины обеспечивает равномерность и точность посева, тем самым повышая качество посева и эффективность работы.

Данный алгоритм обеспечивает оптимизацию интегрированных систем управления технологическим процессом посева инкрустированных и дражированных семян сахарной свеклы высевальным аппаратом на электроприводе. Такие аппараты позволяют сократить время на подготовительные работы и уменьшить необходимость частой замены высевальных дисков.



Результаты и обсуждение

Повышение качества высева семян сахарной свёклы (точность, соблюдение нормы и глубины) на современных сеялках часто ограничено механическим приводом секций, который вызывает неравномерность высева при пробуксовке или изменении скорости. Переход на индивидуальный электрический или гидравлический привод обеспечивает прецизионный посев, улучшая всхожесть и снижая потребность в ручном труде. Разработка, внедрение и эксплуатация гидравлического привода, в сравнении с электрическим, менее экономически выгодны [6].

При разработке высевающего аппарата, с целью повышения качества технологической операции посева, были рассмотрены и обоснованы его основные технические параметры.

Для определения частоты вращения высевающего диска на электроприводе воспользуемся известной зависимостью:

$$n_d = \frac{\omega_B}{2\pi}, \quad (1)$$

где ω_B – угловая скорость вращения высевающего диска, c^{-1} .

Угловая скорость вращения высевающего диска определяется максимально предельным значением силы присасывания, согласно выражению [4]:

$$F_{\Pi} = kPS_{\Pi}, \quad (2)$$

где k – коэффициент, учитывающий различные факторы, определяется экспериментально ($k = 1,1-1,3$);

P – давление вакуума, Па;

S_{Π} – площадь присасывающих отверстий, расположенных в зоне камеры разрежения, m^2 [7].

Следовательно, угловая скорость вращения высевающего диска на электроприводе определяется согласно зависимости:

$$\omega_d = \sqrt{\frac{kPS_{\Pi} - m_c g}{m_c R_{\Pi}}}, \quad (3)$$

где R_{Π} – радиус пневматического диска, м;

m_c – масса семени сахарной свеклы, кг.

Определение площади присасывающих отверстий зоны разрежения высевающего аппарата выполним согласно аналитической зависимости:

$$S_p = S_{\Pi} z_{\Pi} k_o, \quad (4)$$

где S_p – площадь присасывающего отверстия, m^2 ;

z_{Π} – число присасывающих отверстий на пневматическом диске;

k_o – отношение количества присасывающих отверстий, расположенных в зоне камеры разрежения, к общему количеству отверстий ($k_{отв} = 0,6$) [4].

Площадь присасывающего отверстия высевающего аппарата для посева семян сахарной свеклы представляет собой форму круга, которая

определяется зависимостью [4]:

$$S_{\Pi} = \frac{\pi d_o^2}{4}, \quad (5)$$

где d_o – диаметр присасывающего отверстия высевающего аппарата, м.

Конструктивные параметры высевающего аппарата на электроприводе и заданный шаг посева l_{Π} связаны с кинематическим показателем работы соотношением:

$$\lambda = \frac{2\pi R_o}{l_{\Pi} z_{\Pi}}, \quad (6)$$

где l_{Π} – шаг посева, м.

В связи с тем, что на основании предшествующих результатов исследований, диаметр пневматического диска составляет ориентировочно 640 мм, то число присасывающих отверстий на пневматическом диске [4],[8]:

$$z_{\Pi} = \frac{2\pi R_o}{l_{\Pi} \lambda}. \quad (7)$$

С учетом формул (5) и (7) площадь присасывающих отверстий зоны разрежения высевающего аппарата:

$$S_{\Pi} = \frac{\pi^2 d_o^2 R_o}{2 l_{\Pi} \lambda}. \quad (8)$$

Давление вакуума, нагнетаемое вентилятором и необходимое для обеспечения присасывания семени сахарной свеклы к отверстию, определяется по выражению (Аксенов, А. Г. Математическая модель ориентированной посадки лукович донцем вниз / А. Г. Аксенов, А. В. Сибирев, П. А. Емельянов // Тракторы и сельхозмашины. - 2016. - Т. 83, № 7. - С. 26–31. - DOI: 10.17816/0321-4443-66197.):

$$P_B = \frac{\rho v_o^2}{2k_a}, \quad (9)$$

где v_o – скорость воздушного потока в присасывающем отверстии, м/с;

k_a – аэродинамический коэффициент сопротивления отверстия, определяется экспериментально ($k_a = 0,41-0,47$);

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Скорость воздушного потока v_o в присасывающем отверстии принимаем равной скорости витания семени v_c :

$$v_o = v_c \approx 15 \dots 31$$

Учитывая аналитические зависимости, представленные выражениями (6), (7) и (9), угловая скорость вращения диска высевающего аппарата на электроприводе определяется:

$$\omega_d = \sqrt{k k_a \frac{\rho v_o^2 \pi^2 d_o^2}{4 k_a l_{\Pi} \lambda m_c} - \frac{g}{R_o}}, \quad (10)$$



Принимая во внимание выражение (10) частота вращения высевашего аппарата определится как:

$$n_B = \frac{\sqrt{k k_a \frac{\rho v_o^2 \pi^2 d_o^2}{4 k_a l_{\Pi} \lambda m_c} - \frac{g}{R_o}}}{2\pi}, \quad (11)$$

С учетом выражений, определяющих частоту вращения диска высевашего аппарата, число присасывающих отверстий и заданный шаг посева семян, поступательную скорость движения машины для посева семян сахарной свеклы определим по выражению (Литвинов, М. А. Разработка автоматизированного привода высевашего аппарата селекционной сеялки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / М. А. Литвинов ; Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. - Москва, 2022. - 24 с):

$$v_{\Pi} = n_B z_{\Pi} l_{\Pi}. \quad (12)$$

Требуемый объем воздуха высевашим аппаратом определяем по формуле:

$$Q_B = k_{\Pi} v_{\Pi} z_p S_{\Pi}, \quad (13)$$

где k_{Π} – коэффициент присасывания, равный 0,37-0,42 (отношение скорости воздуха в присасывающем отверстии с семенем к скорости без семени);

v_{Π} – скорость воздушного потока в отверстии без семени, м/с;

z_p – число присасывающих отверстий на высевашем аппарате, расположенных в зоне камеры разрежения, шт [4].

Мощность, затрачиваемая на привод высевашего аппарата, представим в виде двух слагаемых:

$$N_{BA} = N_1 + N_2, \quad (14)$$

где N_1 – мощность, затрачиваемая на транспортирование семян, кВт;

N_2 – мощность, затрачиваемая на отбрасывание семян, кВт.

$$N_1 = \frac{k \cdot S_{\Pi} \cdot h \cdot n_B}{1000}, \quad (15)$$

где k – удельное сопротивление слоя семян, МПа ($k=217000$ Па);

S_{Π} – площадь семени сахарной свеклы, м²;

h – высота слоя семян в бункере, м;

n_B – частота вращения высевашего диска, об/с.

$$N_1 = \frac{217000 \cdot 0,094 \cdot 0,04 \cdot 2,08}{1000} = 1,7 \text{ кВт.} \quad (16)$$

$$N_2 = 5 \cdot 10^{-4} \cdot \delta \cdot Q_B \cdot v_{\Pi},$$

где δ – коэффициент отбрасывания, зависящий от формы поверхности присасывающего отверстия высевашего диска, $\delta=0,75$.

$$N_2 = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,75 \cdot 20,1 \cdot 1,7 = 0,0097 \text{ кВт.}$$

$$N_{BA} = 1,7 + 0,0097 = 1,7097 \text{ кВт.}$$

Требуемая мощность привода высевашего аппарата машины для посева семян сахарной свеклы:

$$N_{\text{тр}} = \frac{N_{BA}}{\eta_{\text{ин}}}, \quad (17)$$

где N_{BA} – общий КПД привода высевашего аппарата.

$$\eta_{\text{ин}} = \eta_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{под}}^2, \quad (18)$$

где $\eta_{\text{эл}}$ – КПД электродвигателя, $\eta_{\text{эл}}=0,96$;

$\eta_{\text{под}}$ – КПД подшипников качения, $\eta_{\text{под}}=0,99$.

$$\eta_{\text{ин}}=0,96 \cdot 0,99^2=0,94.$$

Мощность, затрачиваемая на привод высевашего аппарата:

$$N_{\text{тр}} = \frac{1,7097}{0,94} = 1,82 \text{ кВт.}$$

Электрический двигатель служит исполнительным элементом системы управления электроприводом для посева семян, и его выбор должен учитывать требования к крутящему моменту, частоте вращения, габаритам и другим факторам.

Важнейшим параметром является выходной крутящий момент, определяемый по выражению:

$$T_m = K_C \frac{T_p}{i} \quad (19)$$

где K_C – коэффициент запаса прочности двигателя, принимаемый равным 1,5;

T_p – крутящий момент нагрузки дозирующего диска, Н·м;

i – передаточное отношение двигателя.

Принимаем во внимание, что при вращении высевашего диска прилегающие к нему семена увлекаются им и движутся в направлении его вращения, участвуя в относительном и переносном движениях. Скорость относительного движения семян v_r направлена в обратную сторону скорости движения диска. Физическая сущность процессов присасывания как изолированного единичного семени, так и семени в массе других семян, одинакова. Однако во втором случае на семя действуют следующие силы (рис. 4): силы тяжести mg ; вертикальная $\sum P_y$ и горизонтальная $\sum P_x$ составляющие силы от давления столба семян; силы трения диска F_c , днища F_d , вышележащих слоев F_h , семян сбоя F_{δ} .

Присасывающая сила должна быть такой, чтобы развить силу трения F_c , способную преодолеть все остальные силы сопротивления [9].

Условия присасывания и удержания семени к отверстию следующие:

$$F_c \geq F_d + F_h + F_{\delta}, \quad (20)$$

где F_c – сила трения семени о поверхность высевашего диска, Н;

F_d – сила трения семени о поверхность дна высевашего аппарата, Н;

F_h – сила трения семян от вышележащих слоев, Н;



F_6 – боковая сила трения семян, Н.

$$F_c = f_1 P_1 + f_1 \sum P_x = f_1 \frac{\pi d^2}{4} (P_1 - P_2) + f_1 \frac{Nmg\lambda}{2}, \quad (21)$$

где N – число слоев семян, шт;

λ – коэффициент бокового давления;

f_1, f_2 – коэффициенты трения семени о диск и о днище соответственно;

P_1, P_2 – давление в камере присасывания и разрежения, МПа.

$$F_g = f_2 \left(mg + J + \sum P_y - K \right), \quad (22)$$

где J – центробежная сила, Н;

K – сила Кориолиса, Н.

$$\sum P_x = \frac{1}{2} Nmg\lambda; \quad \sum P_y = \frac{1}{2} Nmg, \quad (23)$$

где P_x, P_y – горизонтальная и вертикальная составляющие силы от давления столба семени, Н.

$$F_h = f_3 \sum P_y = f_3 \frac{Nmg}{2}, \quad (24)$$

где f_3 – коэффициент внутреннего трения семян.

$$F_\delta = f_3 \sum P_x. \quad (25)$$

После соответствующих преобразований имеем необходимое условие разрежения для присасывания и транспортирования семени сахарной свеклы высевальным аппаратом на электрическом приводе:

$$(P_1 - P_2) \geq \frac{4m \left\{ f_2 g + \frac{v^2}{R} f_2 - 2f_2 \omega v_r + \frac{Ng}{2} [f_2 + f_3(1 + \lambda) - f_1 \lambda] \right\}}{f_1 \pi d^2} \quad (26)$$

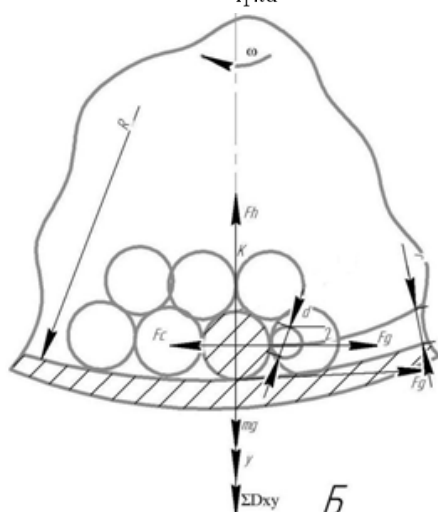


Рис. 4 – Схемы действия сил в процессе присасывания к отверстию высевального диска семени, находящегося в массе других семян

Fig. 4 – Diagrams of the action of forces in the process of suction to the hole of the sowing disc of a seed located in the mass of other seeds

Заключение

Обоснованы основные технические параметры, разработана схема моделирования процесса высева семян сахарной свёклы и алгоритм её функционирования, что является основанием для разработки технического задания на опытно-экспериментальную конструкцию адаптивного высевального аппарата на электроприводе.

Использование сеялок более высокого технического и технологического уровня позволит обеспечить точность размещения посевного материала (до 5 %) и сократить время на подготовительные работы, уменьшив необходимость частой замены высевальных дисков.

Список источников

1. Солдатов Ю. И. Совершенствование делителя для ленточного посева семян сахарной свеклы пневматическим высевальным аппаратом : дис. ... канд. техн. наук : 4.3.1. Воронеж, 2023. 180 с.
2. Несмиян А. Ю. и др. Исследование процесса подачи семян пропашных культур вакуумным аппаратом точного высева. *Инженерные технологии и системы*. 2024;34(3):388-406.
3. Ахалая Б. Х., Мосяков М. А. Пневмовысевающая система с оригинальным решением высева семян. *Тракторы и сельхозмашины*. 2026;93(1):89-94. DOI 10.17816/0321-4443-676970.
4. Wang H. et al. Comparative investigation and evaluation of electric-drive seed-metering systems across diverse speed ranges for enhanced high-precision seeding applications. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024;222:108976.
5. Сибирев А. В. и др. Разработка системы управления автоматизированных рабочих органов и цифровой системы управления машины для закладки на хранение овощных культур и картофеля. *Аграрный научный журнал*. 2026;7:149-160. DOI 10.28983/asj.y2026i7pp149-160.
6. Yu Ya. et al. Design of motor-driven precision seed-metering device with improved fuzzy PID controller for small peanut planters. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2023;16(1):136-144.
7. Аксенов А. Г. Обоснование и разработка адаптивных машинных технологий и технических средств для возделывания луковых культур: дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01; Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. Москва, 2021. 281 с.
8. Karayel D., Güngör O., Šarauskis E. Estimation of optimum vacuum pressure of air-suction seed-metering device of precision seeders using artificial neural network models. *Agronomy*. 2022;12(7):1600.
9. Dong J. et al. Design and testing of a posture-adjusting precision metering device for high-speed maize planting. *Frontiers in Plant Science*. 2025;16:1458597.



Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References

1. Soldatov Yu. I. Sovershenstvovanie delitelya dlya lentochного poseva semyan sakharnoj svekly pnevmaticheskim vysewayushchim apparatom (Improvement of a divider for band sowing of sugar beet seeds with a pneumatic seeding apparatus): Diss. for the degree of Candidate of Technical Sciences. Voronezh, 2023. 180 p. (in Russ.).
2. Nesmiyan A. Y. et al. The study of the process of supplying seeds of row crops using a vacuum seed-placing unit. *Engineering technologies and systems*. 2024;34(3):388-406. (in Russ.).
3. Akhalaya B. Kh., Mosyakov M. A. Pneumatic sowing system with an original solution of seeds sowing Tractors and Agricultural Machinery. 2026;93(1):89-94. (in Russ.). DOI 10.17816/0321-4443-676970.
4. Wang H. et al. Comparative investigation and evaluation of electric-drive seed-metering systems across diverse speed ranges for enhanced high-precision seeding applications. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024;222:108976.
5. Sibirev A. V. et al. Development of a control system for automated working elements and a digital control system for a machine used to store vegetable crops and potatoes. *Agrarian Scientific Journal*. 2026;7:149-160. (in Russ.). DOI 10.28983/asj.y2026i7pp149-160.
6. Yu Ya. et al. Design of motor-driven precision seed-metering device with improved fuzzy PID controller for small peanut planters. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2023;16(1):136-144.
7. Aksyonov, A. G. Obosnovanie i razrabotka adaptivnykh mashinnykh tekhnologij i tekhnicheskikh sredstv dlya vozdel'yvaniya lukovykh kul'tur (Justification and Development of Adaptive Machine Technologies and Technical Means for Cultivating Onion Crops): Diss. for the Degree of Doctor of Technical Sciences; Federal Scientific Agroengineering Center VIM. Moscow, 2021. 281 p. (in Russ.).
8. Karayel D., Güngör O., Šarauskis E. Estimation of optimum vacuum pressure of air-suction seed-metering device of precision seeders using artificial neural network models. *Agronomy*. 2022;12(7):1600.
9. Dong J. et al. Design and testing of a posture-adjusting precision metering device for high-speed maize planting. *Frontiers in Plant Science*. 2025;16:1458597.

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

Мосяков Максим Александрович, канд. техн. наук, ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия, Maks.Mosyakov@yandex.ru

Author information

Maxim A. Mosyakov, Cand.Sc. (Engineering), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia, Maks.Mosyakov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 1.08.2026; одобрена после рецензирования 28.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 1.08.2026; approved after reviewing 28.08.2026; accepted for publication 16.09.2026.





Научная статья
УДК 628.166.094.3
DOI: 10.36508/RSATU.2026.14.34.017

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕХОДА К ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОМУ ЭЛЕКТРОЛИЗНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАЛМЫКИЯ

Адик Викторovich Онкаев¹✉, Иван Алексеевич Успенский², Иван Александрович Юхин², Николай Владимирович Лимаренко³, Валерий Андреевич Эвиев⁴

¹ ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

² ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

³ ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова», г. Элиста, Россия

✉ onkaev.adik08@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Калмыкия относится к аридным регионам с устойчивым дефицитом пресных водных ресурсов, а её сельскохозяйственные предприятия рассредоточены на обширной территории со слаборазвитой дорожной инфраструктурой. Закупка и транспортировка промышленного высококонцентрированного гипохлорита натрия (ВГХН) от удалённых заводских поставщиков влечёт за собой существенные логистические затраты и риски перебоев в обеспечении дезинфектантами. В противовес этому рассматривается технология получения низкоконцентрированного гипохлорита натрия (НГХН) непосредственно в точке потребления путём электролиза соленоватых подземных вод с высоким природным содержанием хлорид-ионов. Цель – количественное сопоставление приведённых годовых издержек двух альтернативных моделей снабжения дезинфицирующим реагентом – распределённой («сотовой») и традиционной централизованной – для условий Элистинского района Республики Калмыкия.

Методология. Сравнительный технико-экономический анализ двух вариантов организации производства и поставки дезинфектанта выполнен на основе критерия минимальных нормированных (дисконтированных) годовых расходов.

Результаты. Приведённые годовые затраты показывают, что внедрение «сотовой» схемы обеспечивает снижение суммарных нормированных затрат в 2,40 раза относительно централизованного завоза ВГХН. Полученная экономия складывается из трёх взаимодополняющих составляющих: отказ от приобретения промышленного дезинфектанта и переход к собственному производству НГХН; сокращение транспортных издержек за счёт существенного уменьшения расстояния доставки при наличии локального производственного узла; а также устранение необходимости в капитальных и эксплуатационных вложениях в инфраструктуру хранения химически опасных веществ. Полученные расчётные данные подтверждают более чем двукратное экономическое превосходство децентрализованного варианта производства.

Заключение. Разработанная методика расчёта и полученные количественные результаты являются основой для тиражирования «сотовой» модели в других районах агропромышленного комплекса Республики Калмыкия.

Ключевые слова: низкоконцентрированный гипохлорит натрия, высококонцентрированный гипохлорит натрия, метод «затраты-эффективность», дисконтированные затраты, децентрализованное производство, водоподготовка, АПК Калмыкии

Для цитирования: Онкаев А. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Лимаренко Н. В., Эвиев В. А. Оценка целесообразности перехода к децентрализованному электролизному производству гипохлорита натрия в республике Калмыкия // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С. 131-137 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.14.34.017>



FEASIBILITY ASSESSMENT OF TRANSITION TO DECENTRALIZED ELECTROLYSIS PRODUCTION OF SODIUM HYPOCHLORITE IN THE REPUBLIC OF KALMYKIA

Adik V. Onkaev¹✉, Ivan A. Uspensky², Ivan A. Yukhin², Nikolai V. Limarenko³, Valerii A. Eviev⁴¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia² Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia³ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia⁴ Kalmyk State University, Elista, Russia

✉ onkaev.adik08@yandex.ru

Abstract.

Problem and purpose. Kalmykia belongs to arid regions with a steady deficit of fresh water resources, and its agricultural enterprises are spread over a vast territory with poorly developed road infrastructure. The purchase and transportation of industrial highly concentrated sodium hypochlorite (HCHN) from remote factory suppliers entails significant logistical costs and risks of interruptions in the supply of disinfectants. In contrast to this, the technology of producing low-concentrated sodium hypochlorite (NHCHN) directly at the point of consumption by electrolysis of brackish groundwater with a high natural content of chloride ions is considered. The goal is a quantitative comparison of the annual costs of two alternative models of disinfectant reagent supply — distributed ("cellular") and traditional centralized — for the conditions of Elistinsky district of the Republic of Kalmykia.

Methodology. A comparative technical and economic analysis of two variants of the organization of production and supply of disinfectant is performed on the basis of the criterion of minimum normalized (discounted) annual expenses.

Results. The given annual costs show that the introduction of the "cellular" scheme provides a reduction in the total normalized costs by 2.40 times compared to the centralized supply of VCHN. The resulting economy consists of three complementary components: refusal to purchase an industrial disinfectant and transition to own production of NGHCHN; reduction of transport costs due to a significant reduction in the delivery distance in the presence of a local production hub; as well as eliminating the need for capital and operational investments in the infrastructure for storing chemically hazardous substances. The obtained calculation data confirm the more than two-fold economic superiority of the decentralized version of production.

Conclusion. The developed calculation method and obtained quantitative results are the basis for replicating the "cellular" model in other regions of the agro-industrial complex of the Republic of Kalmykia.

Key words: diluted sodium hypochlorite, concentrated sodium hypochlorite, cost-efficiency analysis, leveled expenses, on-site generation, water purification, Kalmyk agricultural sector.

For citation: Onkaev A. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Limarenko N. V., Eviev V. A. Feasibility assessment of transition to decentralized electrolysis production of sodium hypochlorite in the republic of Kalmykia // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P 131-137 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.14.34.017>

Введение

По данным мониторинга агропредприятий Элистинского района за 2024-2025 гг., суммарные расходы на закупку и доставку промышленного высококонцентрированного гипохлорита натрия (ВГХН) у единственного регионального поставщика составляют в среднем от 1,8 до 2,3 млн руб. в год на кластер из трёх хозяйств. При этом вынужденные простои, вызванные срывами поставок в периоды бездорожья, приводят к дополнительным потерям дезинфицирующей обработки стоимостью от 120 до 350 тыс. руб. в расчёте на одно хозяйство за сезон. Таким образом, фактические ежегодные убытки от применения централизованной схемы снабжения в масштабах одного кластера могут достигать 2 232 807,6 руб. (см. раздел «Результаты расчёта»), что в 2,4 раза превышает нормированные затраты децентрализованного варианта. В хозяйственной практике с ограниченным финансированием ключевым ориентиром является не извлечение максимальной прибыли, а гарантированное достижение нормативного качества при

минимальных суммарных расходах. Именно этот принцип составляет содержательную основу подхода «затраты-эффективность», который активно применяется в инфраструктурных секторах без рыночного ценообразования: централизованном водоснабжении, ветеринарной санитарии, экологическом контроле.

Рынок дезинфицирующих средств для животноводческих и растениеводческих предприятий Калмыкии устроен иначе, чем типичный конкурентный товарный рынок. Здесь определяющую роль играют не ценовые сигналы спроса и предложения, а обязательные нормативы ветеринарно-санитарной безопасности, которые каждое хозяйство обязано соблюдать при наименьших совокупных издержках. Дополнительную сложность создаёт совокупность трёх обстоятельств: хозяйства рассредоточены на значительном расстоянии друг от друга, региональный рынок поставок ВГХН фактически монополизирован одним оператором, а запасы пресной воды для разведения концентрата крайне ограничены.



Реальной альтернативой завозу ВГХН служит малогабаритная электролизная установка, функционирующая непосредственно на площадке хозяйства и перерабатывающая местные солоноватые грунтовые воды с природным содержанием хлоридов в готовый дезинфектант – низкоконцентрированный гипохлорит натрия (НГХН) [1-3]. Внедрение подобного оборудования позволяет одновременно решить несколько задач: снять зависимость от единственного монопольного поставщика, сократить транспортное плечо доставки и полностью исключить расход привозной пресной воды на разбавление концентрата.

Цель настоящего исследования – провести численное сравнение нормированных годовых затрат двух конкурирующих схем снабжения хлорсодержащим дезинфектантом: «сотовой» (децентрализованной) и традиционной централизованной – на конкретном расчётном примере хозяйств Элистинского района Республики Калмыкия и обосновать экономически предпочтительный вариант [4-6].

Материалы и методы

Сравнительный технико-экономический анализ двух вариантов организации производства и поставки дезинфектанта выполнен на основе критерия минимальных нормированных (дисконтированных) годовых расходов. Данный инструментальный общепринят в экономическом обосновании инфраструктурных проектов, где результирующим критерием служит не финансовая прибыль, а обеспечение заданного стандарта качества при наименьших возможных суммарных расходах.

Аналитическое выражение целевой функции имеет следующий вид:

$$W_i = E_i + \alpha \cdot I_i + T_i \rightarrow \min,$$

где W_i – приведённые годовые затраты по i -му варианту организации снабжения гипохлоритом натрия (ГХН), руб./год;

E_i – годовые эксплуатационные расходы (электроэнергия, реагенты, персонал), руб./год;

I_i – первоначальные капитальные вложения в производственную установку или инфраструктуру, руб.;

α – норма амортизации, отн. ед.;

T_i – транспортно-логистические затраты на доставку ГХН от точки производства до точек потребления, руб./год.

Пространственная конфигурация потоков гипохлорита натрия между производственными узлами i и точками потребления j формализована с помощью технологической матрицы $||F||$ размерностью $I \times J$, где I – число производственных узлов (точек синтеза ГХН), J – число хозяйств-потребителей. Строка i матрицы соответствует конкретному производственному узлу, столбец j – конкретному хозяйству-потребителю. Каждый элемент матрицы F_{ij} представляет совокупные приведённые затраты на обеспечение дезинфектантом хозяйства j из узла i и включает производственную, транспортную и амортизационную составляющие. Тем самым матрица позволяет в едином табличном

виде сопоставить все варианты организации логистических потоков ГХН и выбрать экономически оптимальный. Элемент F_{ij} данной матрицы аккумулирует приведённые затраты, соответствующие выбору i -й технологии синтеза и j -му направлению ресурсных потоков.

В общем виде элемент матрицы определяется следующим выражением:

$$F_{ij} = (E_{ij} + T_{ij} + \alpha \cdot I_{ij})$$

В рамках настоящей работы горизонт расчёта принят равным $H = 1$ году, а ставка дисконтирования r установлена на нулевом уровне. Это допущение оправдано при краткосрочном сравнительном анализе и не влияет на качественные выводы о предпочтительности того или иного варианта.

Транспортно-логистические расходы на перемещение партий ГХН от производственной точки i до пункта потребления j определяются зависимостью:

$$T_{ij} = d_{ij} \cdot (v_{ij} / U) \cdot (P_f \cdot q / 100),$$

где d_{ij} – расстояние между пунктами i и j , км;

v_{ij} – годовой объём транспортируемого ГХН на маршруте i - j , м³/год;

U – объём транспортной ёмкости (цистерны), м³;

P_f – текущая цена бензина АИ-92, руб./л;

q – нормативный расход топлива на 100 км, л.

а) «Сотовая» (децентрализованная) схема: солоноватые подземные воды → электролизная установка (производственный узел $i = 0$, пос. Утта) → цистерна-автомобиль → хозяйство $j=1$ / хозяйство $j=2$ / хозяйство $j=3$. НГХН производится непосредственно из местного хлоридсодержащего сырья, не требуя завоза промышленного концентрата. Расстояния доставки: 12; 6 и 28 км соответственно.

б) Централизованная схема: завод-изготовитель ВГХН (Волгоград, узел 0') → специализированный автотранспорт (590 км) → склад-терминал (Элиста, узел 0) → развозка по хозяйствам $j=1$, $j=2$, $j=3$ (160, 155, 174 км). Каждый этап требует отдельных транспортно-логистических операций, что увеличивает суммарные затраты и риски срыва поставок.

Результаты и обсуждение

«Сотовая» (децентрализованная) схема снабжения НГХН.

Согласно данной организационной модели, электролизёр мощностью до 10 кг активного хлора в сутки монтируется на базе одного из агропредприятий (пос. Утта, Элистинский район), выступающего в роли распределительного производственного узла. Произведённый НГХН транспортируется к трём хозяйствам-получателям – условно обозначенным как объекты 1, 2 и 3, – которые различаются удалённостью от точки выработки и необходимыми годовыми объёмами реагента.

Матрица технологических параметров «сотовой» схемы представлена ниже:



Таблица 1 — Параметрическая матрица «сотовой» схемы

$i \backslash j$	$j = 1$		$j = 2$		$j = \dots J$	
	d_{ij} , км	v_{ij} , м ³ /год	d_{ij} , км	v_{ij} , м ³ /год	d_{iJ} , км	v_{iJ} , м ³ /год
$i = 1$	d_{11}	v_{11}	d_{12}	v_{12}	d_{1J}	v_{1J}
$i = 2$	d_{21}	v_{21}	d_{22}	v_{22}	d_{2J}	v_{2J}
$i = 3$	d_{31}	v_{31}	d_{32}	v_{32}	d_{3J}	v_{3J}
...	...	...	...	...	...	...
$i = I$	d_{I1}	v_{I1}	d_{I2}	v_{I2}	d_{IJ}	v_{IJ}

Обозначения, используемые в таблицах 1-4: i – индекс производственного узла (точки синтеза ГХН); j – индекс хозяйства-потребителя; d_{ij} – расстояние от узла i до хозяйства j , км; v_{ij} – годовой объём ГХН, транспортируемого по маршруту $i \rightarrow j$, м³/год. Индекс 0 соответствует единственному производственному узлу «сотовой» схемы (пос.

Утта); индекс 0' – заводу-изготовителю ВГХН (Волгоград) в централизованной схеме; индексы 1, 2, 3 – хозяйствам-потребителям.

Фактические числовые параметры сценария для Элистинского района (данные за 2025 г.) систематизированы в таблице 2.

Таблица 2 — Числовые параметры «сотовой» схемы

i	d_{01} , км	v_{01} , м ³ /год	d_{02} , км	v_{02} , м ³ /год	d_{03} , км	v_{03} , м ³ /год
0	12	438	6	219	28	43,8

При определении годовых объёмов транспортировки принят во внимание фактический режим потребления: хозяйство 1 снабжается ежедневно, хозяйство 2 – один раз в неделю, хозяйство 3 – один раз в месяц.

Величины транспортных расходов T_{ij} рассчитаны при следующих нормативных значениях: стоимость бензина АИ-92 – $P_f = 52$ руб./л, нормативный расход топлива – $q = 14$ л/100 км:

$$T_{01} = 12 \cdot 438 \cdot (52 \cdot 14 / 100) = 37\,895,04 \text{ руб.}$$

$$T_{02} = 6 \cdot 219 \cdot (52 \cdot 14 / 100) = 9\,473,76 \text{ руб.}$$

$$T_{03} = 28 \cdot 43,8 \cdot (52 \cdot 14 / 100) = 8\,869,49 \text{ руб.}$$

$$T = T_{01} + T_{02} + T_{03} = 47\,637,41 \text{ руб.}$$

Начальные инвестиционные затраты на приобретение и монтаж электролизной установки составляют $I_1 = 1\,620\,000$ руб. (по ценам базового периода). С целью приведения к ценам 2025 года вводится инфляционный коэффициент $\text{kinf} = 1,47$, исходя из среднегодового роста цен 8-9 % на протяжении 2018-2025 гг. Норматив амортизационных отчислений принят $\alpha = 0,10$.

Текущие операционные затраты по статьям «электрическая энергия», «соль поваренная» и «техническое обслуживание» скалированы пропорционально фактической производительности установки и по результатам мониторинга рынка на март 2025 г. составляют $E_1 = 645\,645,2$ руб./год.

Совокупные нормированные годовые затраты децентрализованной схемы:

$$F_1 = T + \alpha \cdot I_1 \cdot \text{kinf} + E_1 = 47\,637,41 + 0,10 \cdot 1\,620\,000 \cdot 1,47 + 645\,645,2 = 931\,122,81 \text{ руб.}$$

Централизованная схема снабжения ВГХН

Централизованная схема предусматривает закупку промышленного ВГХН у завода-изготовителя в Волгограде (узел 0') с последующей его перевалкой через складской терминал в Элисте (узел 0) и развозкой по фермерским объектам. Данная схема требует задействования специализированного автотранспорта, допущенного к перевозке химически опасных грузов, и организации охраняемого склада для хранения концентрированного реагента.

Таблица 3 – Параметрическая матрица централизованной схемы

i	$j = 0'$		$j = 1$		$j = 2$		$\dots J$
...	$d_{00'}$, км	$v_{00'}$, м ³ /год	d_{01} , км	v_{01} , м ³ /год	d_{02} , км	v_{02} , м ³ /год	...
0	$d_{00'}$	$v_{00'}$	d_{01}	v_{01}	d_{02}	v_{02}	...

Таблица 4 — Числовые параметры централизованной схемы

i	$d_{0'0}$, км	$v_{0'0}$, м ³ /год	d_{01} , км	v_{01} , м ³ /год	d_{02} , км	v_{02} , м ³ /год	d_{03} / v_{03}
0	—	42	160	25	155	13	174 / 4

Транспортные расходы на доставку ВГХН с распределительного терминала (Элиста, узел 0) до конечных потребителей при нормативных значениях $P_f = 52$ руб./л, $q = 14$ л/100 км рассчитаны следующим образом:

$$T_{01} = 160 \cdot 25 \cdot (52 \cdot 14 / 100) = 29\,120 \text{ руб.}$$

$$T_{02} = 155 \cdot 13 \cdot (52 \cdot 14 / 100) = 14\,639,6 \text{ руб.}$$

$$T_{03} = 174 \cdot 4 \cdot (52 \cdot 14 / 100) = 5\,048 \text{ руб.}$$

$$T = 29\,120 + 14\,639,6 + 5\,048 = 48\,807,6 \text{ руб.}$$

Отпускная цена ВГХН на заводе-изготовителе составляет 52 000 руб./м³ [7]. Необходимый годо-



вой объём закупки равен $v_0'0 = 42 \text{ м}^3/\text{год}$. Расходы на приобретение реагента (G):

$$G = 52\,000 \cdot 42 = 2\,184\,000 \text{ руб.}$$

Совокупные нормированные годовые затраты централизованной схемы:

$$F_2 = T + G = 48\,807,6 + 2\,184\,000 = 2\,232\,807,6 \text{ руб.}$$

Полученное значение $F_2 = 2\,232\,807,6 \text{ руб.}$ характеризует суммарные нормированные годовые расходы при централизованной схеме снабжения. Основную долю (97,8 %) в этой сумме составляет стоимость закупки промышленного ВГХН (2 184 000 руб.), тогда как транспортные расходы (48 807,6 руб.) относительно невелики. Подобная структура затрат является экономически невыгодной для сельскохозяйственных предприятий: преобладающая доля расходов составляет стоимость реагента при незначительных удельных весенних транспортно-логистических издержках,

что ограничивает потенциал суммарных затрат по счету с учетом схемы поставок.

Сопоставление с «сотовой» схемой децентрализованного производства гипохлорита натрия свидетельствует о ее очевидном превосходстве: нормированные затраты $F_1 = 931\,122,81 \text{ руб.}$ менее затрат централизованной схемы в 2,40 раза. Абсолютная величина годовой экономии составляет 1 301 684,8 руб., что открывает реальную возможность перераспределения высвобождаемых финансовых ресурсов в пользу развития производственного предприятия.

Оптимальная схема снабжения определяется по критерию минимально нормированных затрат:

$$\min(F_1; F_2) = \min(931\,122,81; 2\,232\,807,6) = F_1.$$

Сводные результаты сравнительного расчёта приведены в таблице 5. Значения строки «Приведённые годовые затраты» — 931 122,81 руб. и 2 232 807,6 руб. Соответственно – при подклочении $F_2/F_1 \approx 2,40$ подтверждается, что внедрение «сотовой» схемы обеспечивает минимальное снижение соответствующих нормированных затрат относительно централизованного завоза ВГХН

Таблица 5 — Сравнение приведённых годовых затрат по двум схемам

Показатель	«Сотовая» схема (НГХН)	Централизованная схема (ВГХН)
Капитальные вложения I_i , руб.	1 620 000	—
Поправочный коэффициент k_{inf}	1,47	—
Норма амортизации α	0,10	—
Эксплуатационные расходы E_i , руб./год	645 645,2	$52\,000 \times 42 = 2\,184\,000$
Логистические затраты T , руб./год	47 637,41	48 807,6
Приведённые годовые затраты F , руб.	931 122,81	2 232 807,6
Соотношение F_2 / F_1	—	$\approx 2,40$

Расчётные данные таблицы 5 (строка «Приведённые годовые затраты F , руб.»: 931 122,81 руб. против 2 232 807,6 руб.; строка «Соотношение F_2/F_1 »: $\approx 2,40$) показывают, что внедрение «сотовой» схемы обеспечивает снижение суммарных нормированных затрат в 2,40 раза относительно централизованного завоза ВГХН. Полученная экономия складывается из трёх взаимодополняющих составляющих: отказ от приобретения промышленного дезинфектанта и переход к собственному производству НГХН; сокращение транспортных издержек за счёт существенного уменьшения расстояния доставки при наличии локального производственного узла; а также устранение необходимости в капитальных и эксплуатационных вложениях в инфраструктуру хранения химически опасных веществ.

Получаемый непосредственно на объекте низкоконтцентрированный гипохлорит натрия содержит не более 0,8 г/л активного хлора и относится к малоопасным веществам 4-го класса опасности. В отличие от этого промышленный высококонцентрированный гипохлорит натрия (180-200 г/л) является сильным окислителем 2-го класса опасности, обращение с которым предполагает соблюдение особых требований при хранении и транспорти-

ровке. Отказ от централизованного завоза ВГХН полностью обуславливает необходимость соблюдения санитарных и противопожарных норм, регламентирующих действие химических веществ, и регулирует регуляторные риски, сопряженные с их перевозкой. Дополнительным преимуществом децентрализованной работы предприятий является независимость от единственного внешнего поставщика реагента, а ресурсная база производства опирается на возобновляемые локальные природные ресурсы – солоноватые подземные воды, – что требует потребности в привозном промышленном производстве.

Заключение

Выполненный технико-экономический анализ показывает экономическое преимущество распределённой («сотовой») модели электрохимического синтеза НГХН из местных хлоридсодержащих природных вод в условиях агропромышленного комплекса Калмыкии: нормированные годовые затраты «сотовой» схемы составляют 931 122,81 руб. против 2 232 807,6 руб. при централизованной закупке ВГХН (соотношение $F_2/F_1 = 2,40$).

Для расчётного сценария Элистинского района совокупные нормированные годовые затраты



«сотовой» схемы составили 931 122,81 руб., тогда как аналогичный показатель централизованной схемы закупки ВГХН достиг 2 232 807,60 руб. Таким образом, преимущество децентрализованного варианта выражается коэффициентом 2,4.

Разработанная методика расчёта и полученные количественные результаты являются основой для тиражирования «сотовой» модели в других районах агропромышленного комплекса Республики Калмыкия. К перспективным результатам настоящего исследования относятся: определение оптимальных зон обслуживания для каждого производственного узла; осуществление регионального инвестиционного плана поэтапного развёртывания электролизного оборудования, оценка чувствительности экономических показателей к определению тарифов на электроэнергию в малонаселённых регионах.

Список источников

1. Фесенко Л.Н. и др. Разработка и внедрение анодов (ОИРТА-Pd) на основе оксида палладия для производства гипохлорита натрия. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2025;9:24–32. DOI: 10.35776/VST.2025.09.03
2. Онкаев А.В. и др. Особенности получения гипохлорита натрия электролизом из природных хлоридсодержащих вод (на примере Республики Калмыкия). *Вестник РГАТУ им. П.А.*

Костычева. 2024;16(4):136–145. DOI: 10.36508/RSATU.2024.62.54.020

3. Онкаев А.В. и др. Анализ способов производства гипохлорита натрия сельскохозяйственного назначения (на примере Республики Калмыкия). *Вестник РГАТУ им. П.А. Костычева*. 2025;17(1):151–163. DOI: 10.36508/RSATU.2025.67.26.021
4. Фесенко Л.Н. и др. Техничко-экономический анализ и исследование кислотной промывки катодов электролизера растворами соляной и сульфаминовой кислот. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2024;2:48–53. DOI: 10.35776/VST.2024.02.07
5. Фесенко Л.Н. и др. Сравнительная оценка экономической эффективности применения хлорсодержащих сред в технологии обеззараживания воды. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2022;10:24–30. DOI: 10.35776/VST.2022.10.03
6. Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Пчельникова А.С. Прямой электролиз подземной воды в условиях производства. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2023;6:4–11. DOI: 10.35776/VST.2023.06.01
7. Онкаев А.В. Обоснование параметров установки получения низкоконтентированного гипохлорита натрия в условиях Республики Калмыкия: дисс. канд. техн. наук: 4.3.1. Рязань, 2025. 160 с.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Fesenko L.N. et al. Development and introduction of anodes (OIRTA-PD) based on palladium oxide for the production of sodium hypochlorite. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2025;9:24–32. (in Russ.). DOI: 10.35776/VST.2025.09.03
2. Onkaev A.V. et al. Features of obtaining sodium hypochlorite by electrolysis from natural chloride-containing waters (on the example of the republic of Kalmykia). *Ryazan Agrotech University Bulletin*. 2024;16(4):136–145. (in Russ.). DOI: 10.36508/RSATU.2024.62.54.020
3. Onkaev A.V. et al. Analysis of methods of production of sodium hypochlorite for agricultural purposes (on the example of the republic of Kalmykia). *Ryazan Agrotech University Bulletin*. 2025;17(1):151–163. (in Russ.). DOI: 10.36508/RSATU.2025.67.26.021
4. Fesenko L.N. et al. Engineering-economic analysis and study of acid washing of electrolyzer cathodes with solutions of hydrochloric and sulfamic acids. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2024;2:48–53. (in Russ.). DOI: 10.35776/VST.2024.02.07
5. Fesenko L.N. et al. Comparative evaluation of the economic effectiveness of using chlorine-containing media in water disinfection technologies. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2022;10:24–30. (in Russ.). DOI: 10.35776/VST.2022.10.03
6. Fesenko L.N., Pchelnikov I.V., Pchelnikova A.S. Direct electrolysis of underground water in production. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2023;6:4–11. (in Russ.). DOI: 10.35776/VST.2023.06.01
7. Onkaev A.V. Obosnovanie parametrov ustanovki polucheniya nizkokontsentririrovannogo gipokhlorita natriya v usloviyakh Respubliki Kalmykiya (Justification of design parameters for a low-concentration sodium hypochlorite production unit under the conditions of the Republic of Kalmykia): PhD thesis in Technical Sciences: 4.3.1. — Ryazan, 2025. — 160 p. (in Russ.).

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

Онкаев Адик Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия onkaev.adik08@yandex.ru



Успенский Иван Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации автотракторной техники, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации автотракторной техники, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия yuival@rambler.ru

Лимаренко Николай Владимирович, д-р техн. наук, профессор каф. приборостроения и биомедицинской инженерии ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия limarenkodstu@yandex.ru

Эвиев Валерий Андреевич, д-р техн. наук, доцент, профессор каф. техносферной безопасности и инженерии, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова», г. Элиста, Россия aviev@yandex.ru

Author information

Adik V. Onkaev, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia onkaev.adik08@yandex.ru

Ivan A. Uspensky, D.Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technical Operation of Automotive and Tractor Equipment, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia ivan.uspensckij@yandex.ru

Ivan A. Yukhin, D.Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department of Technical Operation of Automotive and Tractor Equipment, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia yuival@rambler.ru

Nikolay V. Limarenko, D.Sc. (Engineering), Professor at the Department of Instrumentation and Biomedical Engineering, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia limarenkodstu@yandex.ru

Valery A. Eviev, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Professor at the Department of Technosphere Safety and Engineering, Kalmyk State University, Elista, Russia aviev@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.06.2026; одобрена после рецензирования 2.09.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 16.06.2026; approved after reviewing 2.09.2026; accepted for publication 16.09.2026





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 631.6.03

DOI: 10.36508/RSATU.2026.23.77.018

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
МОДУЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
В СИСТЕМАХ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА АПК****Александр Алексеевич Пахомов¹, Ольга Николаевна Вольская²✉, Сергей Викторович Тронеv¹, Алексей Александрович Чураков²**¹ ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия² ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

✉ volskayao_8@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Воды подземных источников являются наиболее широко используемым источником питьевой воды для сельских населенных пунктов и предприятий АПК. Они служат надежным и устойчивым источником безопасной воды для орошения и хозяйственно-бытовых нужд, особенно в засушливый сезон, а также для животноводства и птицеводства. Однако с каждым годом качество подземных вод ухудшается из-за природных и антропогенных загрязнений. Самыми распространенными природными загрязнителями являются железо (Fe) и марганец (Mn). Присутствие этих элементов в подземных водах постоянно ставит перед инженерами по очистке сложную задачу – найти лучшие и более надежные методы их удаления. Удаление Fe и Mn включает в себя две стадии: (а) – процесс окисления, в ходе которого растворимые формы Fe и Mn окисляются с образованием нерастворимых осадков и (б) – процесс разделения твердых частиц, при котором осажденный материал удаляется из потока воды. Процесс окисления может быть прямой химической реакцией, в которой акцептором электронов является кислород, как более доступный и экологически чистый окислитель. Процесс осаждения окисленных Fe и Mn, в самом упрощенном виде, может происходить с помощью фильтрации в слое песчаной загрузки. Для контроля и минимизации содержания Fe и Mn в подземных водах доступны различные технологии очистки, которые с разной степенью успешности позволяют этого добиваться. Авторы предлагают исследовать технологию на основе вакуумно-эжекционной очистки подземных вод от Fe и Mn, которая полностью соответствует требованиям по экологической безопасности воды, эксплуатационным затратам и затратам на техническое обслуживание. Еще одним условием внедрения данной технологии по очистке подземных вод для предприятий АПК и сельских населенных пунктов является компактность и простота эксплуатации. Основное оборудование технологии – установка, название которой – окислитель-аэрактор пониженного давления с последующей фильтрацией (ОАПДФ), отвечающая всем требованиям лучших и надежных установок в технологиях очистки подземных вод. Исходя из вышеперечисленных преимуществ существующей технологии, сформулирована цель исследования – создание модульной установки для очистки подземных вод от Fe и Mn с оптимизированными технологическими параметрами для внедрения в систему водного хозяйства АПК.

Методология. Предметом исследования являлась установка ОАПДФ на основе вакуумно-эжекционного метода обезжелезивания подземных вод. Объектом исследования были приняты подземные воды Среднеахтубинского района Волгоградской области. Установка ОАПДФ включала в себя 2 основных элемента: окислитель-аэрактор пониженного давления (ОАПД) и фильтр с загрузкой из сыпучего материала – песка гравелистого, работающего по методу «сухой фильтрации» (ФСФ). Каждый элемент проходил практические испытания сначала отдельно, а затем, после выявления оптимальных параметров обоих элементов, вместе, как одна органичная система. Основными параметрами ОАПД были определены его геометрические характеристики: соотношение диаметров сопла Вентури и вакуумной камеры, количество ступеней камеры смещения и соотношение объемов воды и воздуха, необходимого для окисления Fe и Mn (рис 6). ФСФ исследовался на предмет гранулометрического состава песка и высоты слоя загрузки, в зависимости от высоты самого ФСФ и его диаметра. Практические исследования сопровождались теоретически обоснованными методами математического анализа, с использованием запатентованной компьютерной программы Волгоградского государственного аграрного университета, которая убедительно доказала достоверность результатов сравнения с натурными исследованиями.

Результаты. Исследования, проводимые на установках ОАПДФ действующих станций очистки подземных вод и усиленные математическим моделированием, проверяемым по критерию Фише-



ра, дали возможность определить оптимальные технологические параметры модульной установки ОАПДФ для очистки подземных вод в системах водного хозяйства АПК, а именно: ОАПДФ – соотношения: диаметров сопла Вентури и вакуумной камеры 1:6, воды и воздуха для окисления Fe и Mn 1:5, число ступеней камеры смешения 1:6; ФСФ: диаметр песка – 5 мм, при глубине слоя загрузки – 1800 мм и скорости фильтрации – 7 м/ч.

Заключение. Математическое моделирование в исследовании установки ОАПДФ, использующее реальные натурные данные, позволило превратить в достоверные закономерности оптимальные технологические параметры модульной установки для очистки подземных вод в системах водного хозяйства АПК.

Ключевые слова: обезжелезивание и деманганация подземных вод, песчаная фильтрующая загрузка, вакуумно-эжекционный метод, эксперимент, оптимизация

Для цитирования: Пахомов А. А., Вольская О. Н., Тронеv С. В., Чураков А. А. Результаты исследования оптимальных технологических параметров модульной установки для очистки подземных вод в системах водного хозяйства АПК // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.138-148 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.23.77.018>

Original article

THE RESULTS OF THE STUDY OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A MODULAR INSTALLATION FOR GROUNDWATER TREATMENT IN AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT SYSTEMS

Alexander A. Pakhomov¹, Olga N. Volskaya²✉, Sergey V. Tronev¹, Alexey A. Churakov²

¹ Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

² Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

✉ volskayao_8@mail.ru

Abstract.

The problem and purpose. Waters from underground sources are the most widely used source of drinking water for rural settlements and agricultural enterprises. They serve as a reliable and sustainable source of safe water for irrigation and household needs, especially during the dry season, as well as for livestock and poultry farming. However, the quality of groundwater is deteriorating every year due to natural and anthropogenic pollution. The most common natural pollutants are iron (Fe) and manganese (Mn). The presence of these elements in groundwater constantly poses a difficult task for cleaning engineers — to find better and more reliable methods of their removal. The removal of Fe and Mn involves two stages: (a) the oxidation process, during which soluble forms of Fe and Mn are oxidized to form insoluble precipitates, and (b) the separation of solid particles, in which the deposited material is removed from the water stream. The oxidation process can be a direct chemical reaction in which oxygen is the electron acceptor, as a more affordable and environmentally friendly oxidizer. The process of precipitation of oxidized Fe and Mn, in the most simplified form, can occur by filtration in the sand loading layer. Various purification technologies are available to control and minimize the content of Fe and Mn in groundwater, which, with varying degrees of success, allow this to be achieved. The authors propose to investigate a technology based on the vacuum-ejection method of groundwater purification from Fe and Mn, which fully meets the requirements for environmental safety of water, operating costs and maintenance costs. Another condition for the introduction of this technology for groundwater purification for agricultural enterprises and rural settlements is compactness and ease of operation. The main equipment of the technology is a plant, the name of which is a low-pressure oxidizer-aerator with subsequent filtration (OASF), which meets all the requirements of the best and most reliable installations in groundwater treatment technologies. Based on the above advantages of the existing technology, the purpose of the study is to create a modular installation for groundwater purification from Fe and Mn with optimized technological parameters for implementation into the agro-industrial complex water management system.

Methodology. The subject of the study was an OASF installation based on the vacuum-ejection method of de-icing of groundwater. The object of the study was the groundwater of the Sredneakhtubinsky district of the Volgograd region. The OASF installation included 2 main elements: an oxidizer-a low-pressure aerator (OLPA) and a filter loaded with bulk material - gravelly sand, operating using the "dry filtration" (DF) method. Each element underwent practical tests, first separately, and then, after identifying the optimal parameters of both elements, together as one organic system. The main parameters of the OLPA were determined by its geometric characteristics: the ratio of the diameters of the Venturi nozzle and the vacuum chamber, the number of stages of the mixing chamber and the ratio of the volumes of water and air required for the oxidation of Fe and Mn (Fig.6). The DF was studied for the granulometric composition of the sand and the height of the loading layer, depending on the height of the DF itself and its diameter. Practical research was accompanied by theoretically sound mathematical analysis methods using a patented computer program from Volgograd Agrarian University, which convincingly proved the reliability of the results of comparison with field studies.



Results. The studies carried out at the OASF installations of existing groundwater treatment plants and enhanced by mathematical modeling, verified by the Fisher criterion, made it possible to determine the optimal technological parameters of a modular OASF installation for groundwater treatment in agricultural water management systems, namely: OLPA – the ratio of the diameters of the Venturi nozzle and the vacuum chamber 1:6, water and air for oxidation of Fe and Mn 1:5, the number of stages of the mixing chamber is 1:6; DF is the diameter of the sand – 5 mm, with a depth of the loading layer – 1800 mm and a filtration rate of 7 m/h.

Conclusion. Mathematical modeling in the study of the OASF installation, using real field data, made it possible to turn into reliable patterns the optimal technological parameters of a modular installation for groundwater treatment in agricultural water management systems.

Key words: de-icing and demanganation of groundwater, sand filtration loading, vacuum-ejection method, experiment, optimization

For citation: Pakhomov A. A., Volskaya O. N., Tronev S. V., Churakov A. A. The results of the study of optimal technological parameters of a modular installation for groundwater treatment in agricultural water management systems // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P. 138-148 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.23.77.018>

Введение

Универсального растворителя с высокой биохимической активностью, равного воде, не существует. Подземные и поверхностные воды являются двумя основными источниками водоснабжения. Большинство сельских населенных пунктов и предприятий АПК в силу удаленности от поверхностных источников используют подземные воды. Подземные воды содержат растворенные ионные вещества, поскольку они находятся в контакте с минеральными породами глубоко в грунте. Постепенно в них накапливается все больше загрязняющих веществ в результате сельского хозяйства, добычи полезных ископаемых, промышленности и удаления отходов. Загрязненная вода может нарушать биологическую целостность, нарушать экосистемы, подвергать риску здоровье человека и животных. Поэтому очистке воды для систем водоподготовки уделяется большое внимание.

В проекте Водной стратегии РФ на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года указывается, что «из общего объема воды, подаваемой в централизованные системы водоснабжения населенных пунктов, через системы водоподготовки пропускается не более 59 %, в сельских населенных пунктах этот показатель не превышает 20 %»¹. Это говорит о серьезной проблеме в области безопасности питьевой воды для жителей РФ, которая непосредственным образом влияет на устойчивость сельскохозяйственного производства.

Одной из основных целей развития водного хозяйства РФ является «гарантированное обеспечение водными ресурсами»¹, которое предусматривает «повышение рационального использования водных ресурсов»¹, а это и есть создание новых ресурсосберегающих, надежных и экономичных технологий. Данная работа посвящена разработке модульной установки с оптимизированными технологическими параметрами, которая предназначена для очистки подземных вод в системах водного хозяйства АПК и является отражением

описанной выше цели развития водного хозяйства РФ.

В этой области разработано много методов очистки подземных вод, а именно методов обезжелезивания и деманганации, которые в широком смысле делятся на метод искусственный, осуществляющийся по реагентной схеме и естественный, работающий по безреагентной схеме. Основными достоинствами естественного метода являются отсутствие необходимости предварительной обработки воды реагентами и вытекающая из этого простота конструкции станции обезжелезивания и деманганации, что значительно снижает эксплуатационные затраты и затраты на техническое обслуживание, образование токсичного осадка и сложные процедуры, связанные с очисткой. Предлагаемая авторами технология обезжелезивания и деманганации подземных вод на основе вакуумно-эжекционного метода, являющегося естественным, имеет ряд достоинств по сравнению с искусственным, а именно:

- процесс очистки подземных вод осуществляется за счет применения доступных природных компонентов: воздух – для окисления металлов; песок – для фильтрации осажденных частиц;

- процесс, протекающий практически при мгновенном окислении Fe^{+2} и Mn^{+2} за счет выделения из воды CO_2 в разреженном пространстве, что повышает pH воды и дает беспрепятственный подсос воздуха в движущейся поток;

- компактность оборудования, состоящего всего из двух основных элементов, располагающихся один над другим, что позволяет значительно сократить площадь, занимаемую установкой;

- экономия электроэнергии и, как следствие, сокращение эксплуатационных затрат.

Цель исследования – создание модульной установки для очистки подземных вод от Fe и Mn с оптимизированными технологическими параметрами для внедрения в систему водного хозяйства АПК.

¹ Водная стратегия Российской Федерации на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года утверждена распоряжением Правительства РФ от 11 ноября 2025 года



Материалы и методы исследований

Существует большое количество методов удаления железа и марганца из воды (Золотова Е. Ф., Асс Г. Ю. Очистка воды от железа, фтора, марганца и сероводорода. М.: Стройиздат, 1975. С. 176; Николадзе Г. И., Минц Д. М., Кастальский А. А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М.: Высшая школа, 1984. С. 262-266) [1-4]. Выбор наиболее подходящего метода зависит от многих факторов, в том числе от концентрации и формы железа/марганца в воде, наличия железомарганцевых бактерий и объема воды, которую необходимо обработать.

В таблице 1 Справочника² обобщен многолетний опыт отечественных и зарубежных ученых и исследователей, занимающихся очисткой подземных вод, на основании которого представлены комплексные технологические решения по выбору наилучшей технологии в зависимости от исходных данных по анализу воды.

Так как исследования установки ОАПДФ (окислитель-аэратор пониженного давления с последующей фильтрацией) на предмет оптимизации технологических параметров проводились на подземных водах Среднеахтубинского района Волгоградской области, то необходимо отметить, что в этой территориальной зоне преобладают воды с большим содержанием Fe – 30 мг/л и более и Mn – 3 мг/л и более. И если взять только эти 2 показателя как основные при выборе технологии и добавить еще содержание в исходной воде двуокиси углерода (CO₂), которая в исследуемых водах составляет более 80 мг/л и сероводорода (H₂S), часто встречающегося в этих водах в количестве более 20 мг/л, то из всех, отмеченных в таблице 1 технологий Справочника 2, подходят «Аэрация-дегазация-озонирование-фильтрование (осветление, обезжелезивание, деманганация)-адсорбция на ГАУ-УФ- обеззараживание» или «Аэрация-дегазация-обезжелезивание-адсорбция на ГАУ-ионный обмен на ионите-цеолите (напр. клиноптилолите в Na-форме)-обеззараживание (NaClO)». В этих схемах особое внимание уделялось исследованиям фильтрования железистой воды (Горячева М.А. Альтернативные фильтрующие материалы для быстрой гравитационной фильтрации питьевой воды // Современные научные исследования и инновации. 2022. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2022/05/98134>) [5-11]. Необходимо отметить, что все рекомендуемые Справочником технологии являются реагентными.

Технологическая схема с применением исследуемой установки ОАПДФ включает следующие процессы «Дегазация-аэрация-фильтрование в слое песчаной загрузки-обеззараживание» и является безреагентной, хорошо описана в работах [12,13].

Сравнивая технологические схемы, показанные на: рисунках 1,2,3,4 – схемы, приведенные в вышеупомянутом Справочнике, и на рисунке 5 – схема с применением вакуумно-эжекционного метода, можно сделать вывод: технология с применением установки ОАПДФ намного проще и экономичнее, т.к. исключает реагенты и дорогостоящие фильтрующие материалы, которые увеличивают количество оборудования как для хранения реагентов, так и насосного и, безусловно, ведут к повышению тарифов на воду.

Необходимо отметить, что особенностями водоснабжения сельских населенных пунктов и предприятий АПК является малая численность населения, неравномерность потребления воды в течение суток, недостаточная площадь на существующих предприятиях для модернизации водоочистки. Это значит, что процесс окисления и удаления Fe и Mn должен происходить в устройстве, состоящем из минимального количества элементов, быть мобильным и модульным.

Именно такие характеристики присущи установке ОАПДФ, которая имеет малые размеры, надежно работает, проста в эксплуатации, разрабатывается на любую производительность.

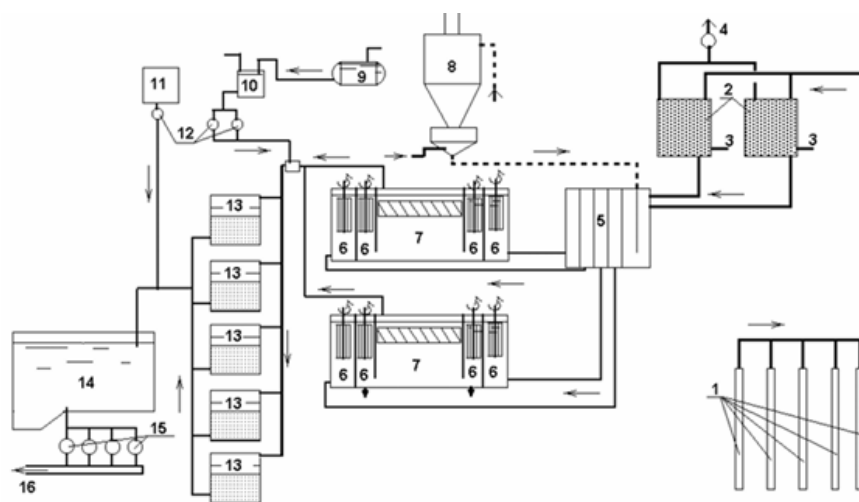
Натурные исследования установки ОАПДФ проводились на действующих станциях обезжелезивания в Среднеахтубинском районе Волгоградской области. Подземным водам в этом районе характерны большие содержания железа (Fe⁺²) – 20 и более мг/л, марганца (Mn⁺²) – 3 и более мг/л, а также присутствие двуокиси углерода (CO₂) и сероводорода (H₂S) в количествах, превышающих нормы по СанПиН 2.1.3684-21.

Установка ОАПДФ включала в себя 2 основных элемента: окислитель-аэратор пониженного давления (ОАПД) и фильтр с загрузкой из сыпучего материала - песок гравелистый, работающий по методу «сухой фильтрации» (ФСФ). Каждый элемент проходил практические испытания сначала отдельно, а затем, после выявления оптимальных параметров обоих элементов, вместе, как одна органичная система (рис.6).

Исследования ОАПДФ проводились при различных режимах работы, включающих:

- давление перед установкой;
- количественное отношение площадей поперечного сечения сопла Вентури и вакуумной камеры (ВК);
- количественная величина ступеней камеры смешения;
- количественное отношение ионов Fe/Mn в исходной воде;
- количественный диаметр фракций кварцевого песка в ФСФ.

² «Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения» <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18725/>



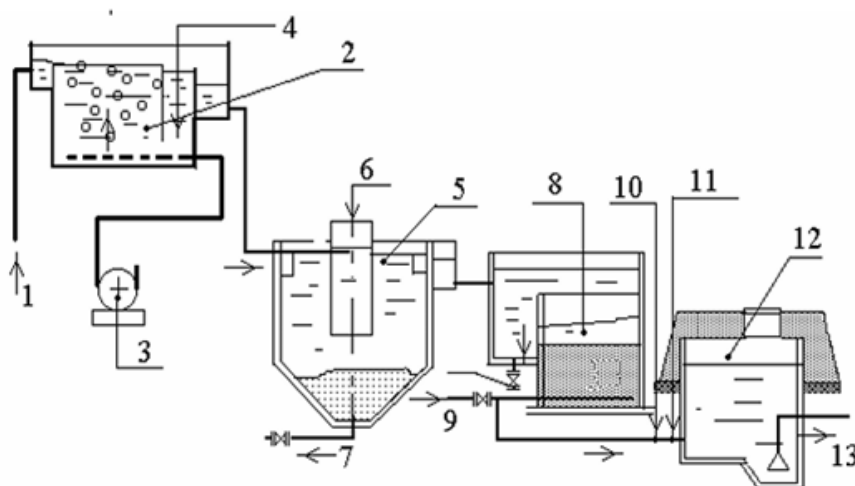
- 1 – скважина; 2 – повысительный насос; 3 – аэраторы; 4 – подача воздуха; 5 – трубопровод удаления CO_2 ; 6 – смеситель; 7 – механические камеры реакции; 8 – отстойники с тонкослойными модулями; 9 – оборудование для приготовления известкового молока; 10, 11, 14, 16 – насос для подачи реагентов; 12 – скорый фильтр; 13 – цистерна-хранилище серной кислоты H_2SO_4 ; 15 – расходный бак; 17 – бак для хранения гипохлорита натрия; 18 – насос

для подачи гипохлорита натрия; 19 – резервуар чистой воды; 20 – насосная станция 2 подъема; 21 – трубопровод чистой воды потребителю

Рис. 1 – Реагентная схема очистки подземной воды известкованием

1 – well; 2 – booster pump 3 – aerators; 4 – air supply; 5 – CO_2 removal pipeline; 6 – mixer; 7 – mechanical reaction chambers; 8 – settling tanks with thin-layer modules; 9 – equipment for lime milk preparation; 10, 11, 14, 16 – reagent feed pump; 12 – rapid filter; 13 – sulfuric acid H_2SO_4 storage tank; 15 – supply tank; 17 – sodium hypochlorite storage tank; 18 – sodium hypochlorite feed pump; 19 – clean water tank; 20 – 2nd lift pumping station; 21 – clean water pipeline to the consumer

Fig. 1 – Reagent scheme of groundwater purification by liming:



- 1 – исходная вода; 2 – аэрационный бассейн; 3 – воздуходувка; 4 – ввод щелочи и коагулянта; 5 – отстойник; 6 – ввод флокулянта; 7 – сброс осадка; 8 – фильтр; 9 – промывная вода; 10 – хлор; 11 – кислота; 12 – резервуар чистой воды; 13 – к насосной станции перекачки воды потребителю

Рис. 2 – Схема очистки подземных вод от железа и марганца в открытых сооружениях аэрацией с подщелачиванием

1 - source water; 2 - aeration basin; 3 - air blower; 4 - alkali and coagulant inlet; 5 - settling tank; 6 - flocculant inlet; 7 - sludge discharge; 8 - filter; 9 - wash water; 10 - chlorine; 11 - acid; 12 - clean water tank; 13 - to the pumping station for pumping water to the consumer

Fig. 2 – Scheme of groundwater purification from iron and manganese in open structures by aeration with alkalization

Для того, чтобы найти оптимальные значения технологических параметров ОАПДФ, сначала оптимизировали давление на входе в установку. Давление перед установкой изменяли от 0,2 до 0,6 МПа с диапазоном в 0,1 МПа. Каждое установленное давление выдерживалось не менее 5-6 часов. При каждом давлении устанавливали ОАПДФ с соотношением сечений сопла Вентури и ВК – 1:6; 1:16; 1:25; 1:64 и меняли количество ступеней камеры смешения (КС) от 2 до 6.

Для эффективного окисления Fe/Mn в ступенях КС были прорезаны окна по периметру верхней части ступеней для равномерного эжектирования

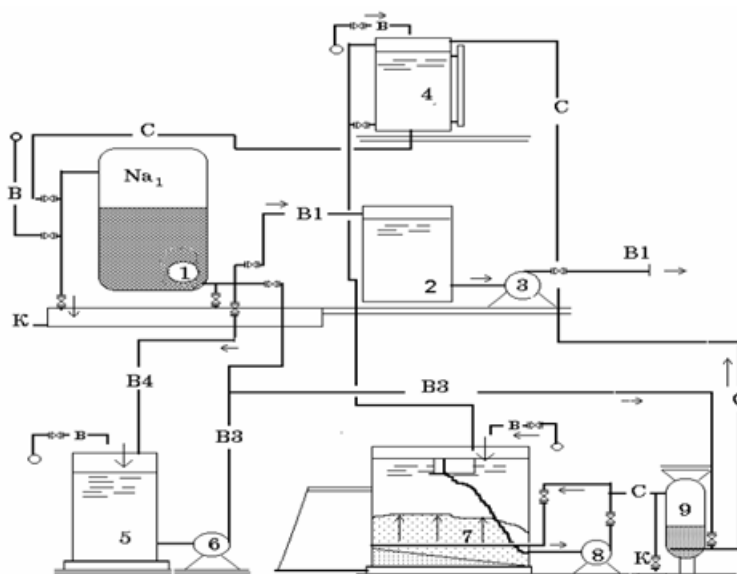
воздуха, причем их площадь должна была пропускать воздух в объеме, трехкратном объему воды [14]. При каждом давлении испытываемый ОАПДФ с определенными геометрическими параметрами и количеством ступеней устанавливали на заранее подготовленных фильтрах с загрузками из гравелистого песка: I фильтр – песок диаметром 0,8-1,2 мм, II фильтр – песок 1,2-2,0 мм, III фильтр – песок 2,0-8,0 мм. При этом применялись стандартные приборы и устройства для измерения давления, вакуума и забора проб – серийные.

Установка ОАПДФ работала следующим образом. Под давлением подземная вода подавалась



на ОАПД (рис. 6), где под действием вакуума в зоне сопла Вентури и выходе из него происходило «вскипание» газов, находящихся в воде, что вело к разрушению целостности струи. Выделившиеся газы, в частности CO_2 , способствовали повышению pH воды, что благоприятно влияло на окис-

ление Fe^{+2} и Mn^{+2} . Далее водовоздушный поток поступал в КС, где эжектируемый воздух запускал процесс диспергирования капель воды. Это вело к продолжению процесса десорбции газов из воды и хемосорбции кислорода с двухвалентным железом и марганцем.



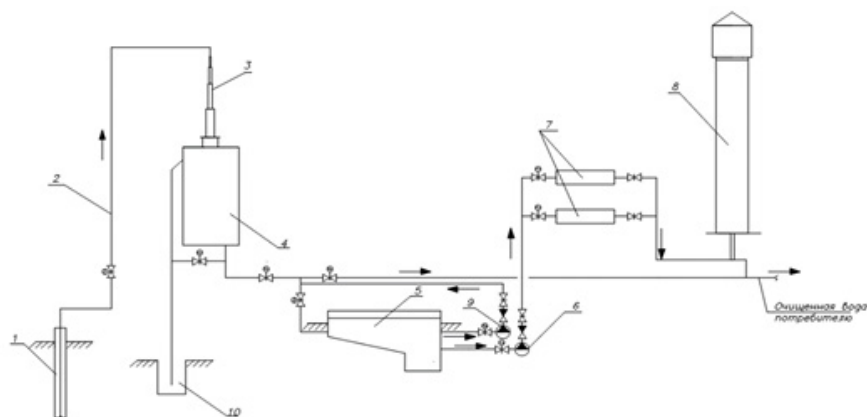
1 – фильтр катионитовый; 2 – бак очищенной воды; 3 – насос подачи очищенной воды потребителю; 4 – бак мерник раствора соли; 5 – бак сбора отмывочной воды для взрыхления фильтров; 6 – насос подачи воды на взрыхление фильтров; 7 – бак хранения соли; 8 – насос перекачки соли; 9 – со- лерастворитель

Рис. 4 – Удаление железа и марганца из подземных вод натрий катионированием

1 - cation exchange filters; 2 - purified water tank; 3 - purified water supply pump to the consumer; 4 - salt solution measuring tank;

5 - filter backwash water collection tank; 6 - filter backwash water supply pump; 7 - salt storage tank; 8 - salt transfer pump; 9 - salt dissolver

Fig. 4 - Removal of iron and manganese from groundwater using sodium cation exchange



1 – водозаборная скважина; 2 – трубопровод воды на обработку; 3 – ОАПД; 4 – песчаный фильтр ФСФ; 5 – резервуар чистой воды; 6 – повысительный насос; 7 – бактерицидная установка; 8 – водонапорная башня; 9 – насос для промывки фильтра; 10 – канализационный приемок

Рис. 5 – Принципиальная схема удаления железа и марганца из подземных

вод вакуумно-эжекционным методом:

1 – water intake well; 2 – water pipeline for treatment; 3 – oxidizer-aerator with subsequent filtration (OASF); 4 – DF sand filter; 5 – clean water tank; 6 – booster pump; 7 – bactericidal unit; 8 – water tower; 9 – filter flush pump; 10 – sewage sump

Fig. 5 – Schematic diagram of iron and manganese removal from groundwater using the vacuum ejection method

После прохождения потока I элемента – ОАПДФ он поступал во II элемент – ФСФ, встречая на своем пути препятствие – отражательную пластину, которая помогала воде освободиться от сопутствующих газов и равномерно распределиться по всему периметру ФСФ. Газы, выделившиеся из потока, уходили через патрубки, расположенные на крышке ФСФ. Вода проходила загрузку ФСФ, освобождаясь от трехвалентного Fe и Mn, которые накапливались на зернах загрузки в виде пленки и на этом процесс обезжелезивания и деманганации заканчивался. Очищенная вода поступала в емкость чистой воды станции обезжелезивания. Фильтрация осуществлялась по

методу «сухой фильтрации». ФСФ, с установленным на его крышке ОАПД, одновременно окислял оставшиеся двухвалентные железо и марганец, не успевшие окислиться в ОАПД, на образовавшейся гидроксильной пленке, сформированной на верхних слоях загрузки и фильтровал образованные в ОАПД коллоиды $\text{Fe}(\text{OH})^3$ и $\text{Mn}(\text{OH})^3$. Все процессы, протекающие в ОАПД и ФСФ, описанные выше, можно считать взаимосвязанными, и значит оба элемента ОАПДФ являются единой системой, т.к. процесс окисления Fe^{+2} и Mn^{+2} в ОАПД является определяющим показателем процессов обезжелезивания и деманганации, в том числе в работе ФСФ.

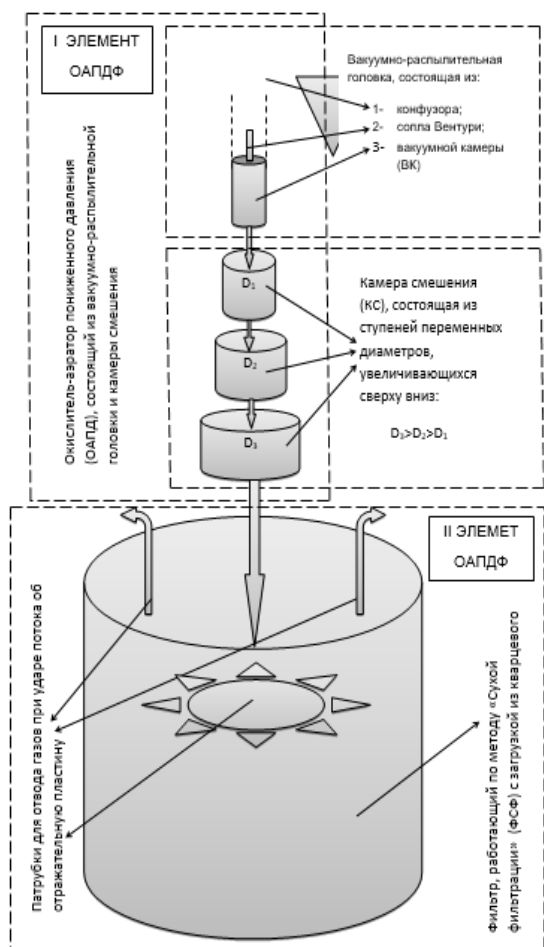


Рис. 6 – Установка ОАПДФ, включающая 2 основных элемента: I – окислитель-аэрактор пониженного давления (ОАПД); II – фильтр, работающий по методу «сухой фильтрации» (ФСФ)

Fig. 6 – OASF unit, including two main elements: I – low-pressure oxidizer-aerator (LPOA);

II – filter operating using the “dry filtration” method (DF)

Результаты и обсуждения

Основным оптимальным критерием работы ОАПДФ являлось остаточное содержание железа (Fe) и марганца (Mn) в обработанной воде.

Результаты натурных исследований сведены в таблице.

Проанализировав результаты, сведенные в таблице 2, можно сделать вывод, что при давлении перед установкой ОАПДФ 0,4 МПа и выше окисление Fe^{+2} и Mn^{+2} достигает 70 % уже в I элементе, т.е. в ОАПД, а оставшиеся 30 % – в ФСФ, в котором, благодаря песчаной загрузке, окисленное железо и марганец осаждаются и при достижении критических потерь напора вымываются обратным током чистой воды. Также можно сделать вывод, что при давлении 0,4 МПа и выше фильтр с фракциями песка 2,0-8,0 мм показывает эффект очистки лучше, чем с фракциями 0,8-1,2 и 1,2-2,0 мм.

На основании анализа промышленных испытаний следует, что при давлении перед ОАПДФ 0,4 МПа результаты соответствуют нормам по содержанию железа и марганца, что дает возможность не повышать далее давление, а значит, экономить энергоресурсы.

Результаты натурных исследований (табл.2) по определению технологических параметров модульной установки для очистки подземных вод в системах водного хозяйства АПК были усилены математическим моделированием, которое связало данные промышленных испытаний с инженерной оптимизацией.

Для проведения математического моделирования была использована программа, разработанная Волгоградским государственным аграрным университетом (Дегтярев, Ю.П. Регрессионный анализ на ПЭВМ / Ю.П. Дегтярев, А.И. Филатов// Повышение надежности и эффективности использования сельскохозяйственной техники. Сборник научных трудов. – Волгоград: Волгоградский СХИ, 1992. – С.128-131), основанная на получении уравнений регрессии, адекватность которых проверялась критерием Фишера в точках оптимизации параметров.

Натурные исследования и математическое моделирование по выявлению оптимальных параметров ОАПДФ имели идентичный характер при выходных показателях: содержания в воде из подземных источников марганца Mn^{+2} ; железа Fe^{+2} мг/л; CO_2 мг/л; pH.

При определении параметров ОАПД были получены уравнения регрессии сначала в кодированном виде по формулам 1,2,3,4:

$$Y_{Mn^{+2}} = 0,792 + 0,011x_1 - 0,008x_2 -$$

$$- 0,043x_1x_2 + 0,038x_1x_3 - 0,031x_1x_4 + 0,028x_2x_3 + 0,139x_1^2 + 0,121x_2^2 + 0,082x_3^2 + 0,073x_4^2 \quad (1)$$

$$Y_{Fe^{+2}} = 6,94 - 0,05x_1 - 0,04x_2 + 0,31x_1x_2 - 0,29x_1x_3 - 0,21x_1x_4 + 0,18x_2x_3 - 0,18x_2x_4 + 0,16x_3x_4 + 1,23x_1^2 + 1,09x_2^2 + 0,92x_3^2 + 0,77x_4^2 \quad (2)$$

$$Y_{CO_2} = 29,7 - 0,3x_1 + 0,2x_2 - 0,1x_3 - 0,1x_4 + 1,9x_1x_2 - 1,7x_1x_3 - 1,4x_1x_4 + 1,1x_2x_3 - 1,1x_2x_4 - 0,9x_3x_4 + 5,2x_1^2 + 4,4x_2^2 + 3,3x_3^2 + 2,9x_4^2 \quad (3)$$

$$Y_{pH} = 8,514 - 0,014x_1 + 0,01x_2 + 0,006x_3 + 0,084x_1x_2 + 0,073x_1x_3 + 0,051x_1x_4 - 0,041x_2x_3 - 0,038x_2x_4 - 0,031x_3x_4 - 0,224x_1^2 - 0,189x_2^2 - 0,169x_3^2 - 0,140x_4^2 \quad (4)$$



Уравнения регрессии (1), (2), (3) и (4), позволили определить зоны компромиссов для улучшения качества воды.

В ходе решения компромиссных задач были определены значения факторов – параметров, заданных исходными, а именно: x_1 – соотношение сечений сопла Вентури и ВК, полученных в диапазоне от 5,1 до 6,2; x_2 – соотношение объемов воды и воздуха, полученных в диапазоне от 4,8 до 5,2; x_3 – количество ступеней КС, шт., полученных – 6 шт. и x_4 – соотношение концентрации железа и марганца Fe^{+2}/Mn^{+2} , полученных в диапазоне от 9,6 до 10,4. При этом основной критерий находился в зоне значения $Y_{Mn^{+2}} = 0,80$ мг/л, а критерии $Y_{Fe^{+2}} = 7,0$ мг/л, $Y_{CO_2} = 30$ мг/л и $Y_{pH} = 8,5$ были назначены дополнительными и зафиксированными.

При определении параметров ФСФ были получены уравнения регрессии в кодированном виде по формулам 5,6,7,8:

$$Y_{Fe^{+3}} = 0,097 + 0,004x_1 - 0,003x_2 + 0,003x_3 + 0,002x_4 - 0,003x_1x_2 - 0,015x_1x_3 - 0,007x_1x_4 + 0,006x_2x_3 - 0,004x_2x_4 + 0,003x_3x_4 + 0,052x_1^2 + 0,046x_2^2 + 0,043x_3^2 + 0,037x_4^2, \quad (5)$$

$$Y_{Fe_{общ}} = 0,198 + 0,003x_1 - 0,002x_2 - 0,008x_1x_2 + 0,004x_1x_3 + 0,003x_1x_4 + 0,002x_2x_3 - 0,002x_2x_4 + 0,003x_3x_4 + 0,027x_1^2 + 0,025x_2^2 + 0,019x_3^2 + 0,015x_4^2, \quad (6)$$

$$Y_{CO_2} = 6,9 + 0,12x_1 + 0,09x_2 + 0,07x_3 - 0,05x_4 - 0,64x_1x_2 - 0,59x_1x_3 + 0,47x_1x_4 - 0,34x_2x_3 - 0,29x_2x_4 + 0,17x_3x_4 + 2,03x_1^2 + 1,87x_2^2 + 1,49x_3^2, \quad (7)$$

$$Y_{pH} = 7,518 + 0,011x_1 + 0,008x_2 + 0,004x_3 - 0,073x_1x_2 - 0,061x_1x_3 + 0,054x_1x_4 - 0,038x_2x_3 + 0,041x_2x_4 + 0,029x_3x_4 - 0,204x_1^2 - 0,179x_2^2 - 0,153x_3^2 - 0,115x_4^2, \quad (8)$$

С помощью уравнений регрессии (5), (6), (7), (8) были определены зоны компромиссов для улучшения качества воды.

В ходе решения компромиссных задач были определены значения факторов – параметров песчаной загрузки ФСФ, заданных исходными, а именно: x_1 – гранулометрический состав фильтрующей загрузки (песок), полученный в диапазоне от 4,7 до 5,3 мм; x_2 – высота фильтрующей загрузки, полученная в диапазоне от 1780 до 1820 мм; x_3 – высота загрузки с содержанием Fe^{+2} , полученная в диапазоне от 470 до 530 мм; x_4 – скорость фильтрования, полученная в диапазоне от 6,8 до 7,2 м/ч. При этом главный показатель обезжелезивания воды зафиксирован в области значения $Y_{Fe^{+2}} = 0,1$ мг/л, а дополнительные – в областях $Y_{Fe_{общ}} = 0,2$ мг/л, $Y_{CO_2} = 7,0$ мг/л и $Y_{pH} = 7,5$.

Таблица – Результаты исследований ОАПДФ

Исходное содержание (соотношение) Feобщ/Mn, мг/л (Fe ⁺³), мг/л	Диаметр фракций кварцевого песка	Соотношение сечений сопла Вентури и ВК	Кол-во ступеней КС	Соотношение объемов воды и воздуха	Содержание Fe ⁺³ /Mn ⁺³ после ОАПД	Остаточное содержание Feобщ/Mnобщ после ОАПДФ
1	2	3	4	5	6	7
Давление перед ОАПДФ – 0,2МПа						
25,5/2,6 (3,1)	0,8-1,2	1:4	4	1:3	6,2/0,4	0,4/0,5
		1:6	6	1:5	7,4/0,4	0,45/0,45
		1:8	8	1:7	4,3/0,3	0,5/0,5
26,2/2,8 (4,2)	1,2-2,0	1:4	4	1:3	6,4/0,5	0,45/0,5
		1:6	6	1:5	8,2/0,55	0,45/0,5
		1:8	8	1:7	5,6/0,35	0,5/0,5
25,8/2,6 (1,8)	2,0-8,0	1:4	4	1:3	7,1/0,45	0,4/0,4
		1:6	6	1:5	7,9/0,55	0,4/0,35
		1:8	8	1:7	6,8/0,3	0,45/0,45
Давление перед ОАПДФ – 0,3 МПа						
25,4/2,6 (3,1)	0,8-1,2	1:4	4	1:3	7,2/0,4	0,4/0,4
		1:6	6	1:5	8,8/0,45	0,4/0,4
		1:8	8	1:7	6,4/0,45	0,45/0,5
26,8/2,8 (3,4)	1,2-2,0	1:4	4	1:3	7,4/0,5	0,45/0,5
		1:6	6	1:5	9,7/0,5	0,45/0,5
		1:8	8	1:7	6,3/0,4	0,5/0,5
25,9/2,7 (3,1)	2,0-8,0	1:4	4	1:3	8,2/0,45	0,4/0,4
		1:6	6	1:5	9,1/0,55	0,4/0,35
		1:8	8	1:7	7,8/0,45	0,4/0,4



Продолжение таблицы

Давление перед ОАПДФ – 0,4 МПа						
26,2/2,6 (2,8)	0,8-1,2	1:4	4	1:3	10,2/0,55	0,3/0,35
		1:6	6	1:5	17,8/0,7	0,3/0,3
		1:8	8	1:7	9,4/0,45	0,3/0,35
26,7/2,65 (2,9)	1,2-2,0	1:4	4	1:3	12,4/0,5	0,28/0,25
		1:6	6	1:5	19,1/0,65	0,25/0,25
		1:8	8	1:7	9,3/0,45	0,25/0,25
26,3/2,6 (2,7)	2,0-8,0	1:4	4	1:3	11,2/0,45	0,2/0,1
		1:6	6	1:5	17,4/0,65	0,15/0,1
		1:8	8	1:7	8,8/0,45	0,15/0,1
Давление перед ОАПДФ – 0,5 МПа						
25,1/2,3 (2,7)	0,8-1,2	1:4	4	1:3	9,2/0,55	0,3/0,25
		1:6	6	1:5	16,4/0,7	0,25/0,25
		1:8	8	1:7	8,3/0,45	0,25/0,25
26,6/2,8 (2,7)	1,2-2,0	1:4	4	1:3	11,9/0,5	0,28/0,2
		1:6	6	1:5	18,1/0,65	0,25/0,2
		1:8	8	1:7	9,9/0,45	0,25/0,2
25,9/2,6 (2,6)	2,0-8,0	1:4	4	1:3	12,7/0,45	0,2/0,1
		1:6	6	1:5	17,1/0,65	0,15/0,1
		1:8	8	1:7	9,5/0,45	0,15/0,1
Давление перед ОАПДФ – 0,6 МПа						
25,4/2,6 (2,6)	0,8-1,2	1:4	4	1:3	10,1/0,55	0,3/0,25
		1:6	6	1:5	15,8/0,7	0,25/0,25
		1:8	8	1:7	9,2/0,45	0,25/0,25
25,9/2,5 (2,6)	1,2-2,0	1:4	4	1:3	12,4/0,5	0,28/0,2
		1:6	6	1:5	16,8/0,65	0,25/0,2
		1:8	8	1:7	10,0/0,45	0,25/0,2
26,2/2,6 (2,7)	2,0-8,0	1:4	4	1:3	11,7/0,45	0,2/0,1
		1:6	6	1:5	16,9/0,65	0,15/0,1
		1:8	8	1:7	10,5/0,45	0,15/0,1

Заключение

1. Сравнение результатов натурного эксперимента и математического моделирования показывает их хорошую сходимость и подтверждает адекватность описанной математической модели.

2. Математическое моделирование в исследовании установки ОАПДФ, использующее реальные натурные данные, позволило превратить в достоверные закономерности оптимальные технологические параметры модульной установки для очистки подземных вод в системах водного хозяйства АПК.

3. На основании результатов натурных экспериментов и математического моделирования по оптимизации технологических параметров модульной установки, обеспечивающих реализацию заложенных принципов безреагентного вакуумно-эжекторного метода обезжелезивания и деманганации подземных вод, предлагается усовершенствованная конструкция ОАПДФ для внедрения в систему водного хозяйства АПК, которая является надежной и работоспособной неотъемлемой частью станции обезжелезивания.

Список литературы

1. Cheng Li. H., Xiong Zh. Zh., Cai Sh. [et al.]. Aeration-manganese sand filter-ultrafiltration to

remove iron and manganese from water: Oxidation effect and fouling behavior of manganese sand coated film. *Journal of Water Process Engineering*. 2020;38:101621. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101621.

2. Marsidi N., Hasan H.A., Abdullah S.R.S. A review of biological aerated filters for iron and manganese ions removal in water treatment. *Journal of Water Process Engineering*. 2018;23:1-12. DOI 10.1016/j.jwpe.2018.01.010.

3. Aziz, H.A., Tajarudin, H.A., Wei, T.H.L., Alazaiza, M.Y.D., Iron and manganese removal from groundwater using limestone filter with iron-oxidized bacteria. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020;17(5):2667-2680. DOI 10.1007/s13762-020-02681-5.

4. Kholif M. Al, Sugito S., Pungut P., Sutrisno J. Kombinasi Tray Aerator Dan Filtrasi Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur. *Ecotrophic*. 2020;14(1):28. DOI 10.24843/ejes.2020.v14.i01.p03.

5. Бочарников В. С., Козинская О. В., Денисова М. А., Бочарникова О. В. Изучение режимов осаждения загрузки с помощью гидравлической установки. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2020;1(57):260-267. DOI:



10.32786/2071-9485-2020-01-26

6. Арискина Ю.Ю., Митяева Л. А., Домашенко Ю. Е., Васильев С. М. Обоснование эффективности фильтровально-сорбционной загрузки при очистке подземных вод. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2019;4(36):31-42. DOI 10.31774/2222-1816-2019-4-31-42.

7. Shirsat M. D., Hianik T. Electrochemical Detection of Heavy Metal Ions Based on Nanocomposite Materials. *Journal of Composites Science*. 2023;7(11)473. DOI 10.3390/jcs7110473.

8. Huiping Z., Zhai, Longxue, Zhang Jn, Li D. As(V) adsorption by a novel core-shell magnetic nanoparticles prepared with Iron-containing water treatment residuals. *Science of The Total Environment*. 2020. V. 753. 142002. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142002.

9. Belyaev A.I., Borovoy E.P., Pugacheva A.M. [et al.]. Improving the quality of irrigation water by vacuum treatment. E3S Web of Conferences. International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023), Dushanbe, Republic of Tajikistan, 19–21 April 2023. Les Ulis: EDP SCIENCES S A, 2023; 392:01016. DOI 10.1051/e3sconf/202339201016.

10. Бочарников В. С., Денисова М. А., Тронеv С. В. [и др.]. Степень извлечения химических примесей при оптимизации конструктивных параметров сорбционной загрузки. *Известия НВ АУК*. 2024;2(74):309-315. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-37

11. Вольская О. Н., Чураков А. А., Боровой Е. П., Халиповский М. В. Интенсификация комплексной очистки подземных источников с помощью многоступенчатого вакуумного эжектора и полуавтоматического фильтра нисходящего фильтрования. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: *Строительство и архитектура*. 2025;1(98):176-184. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_176.

12. Боровой Е. П., Вольская О. Н., Григорьев С. М. [и др.]. Улучшение качества оросительной воды методом вакуумной обработки. *Известия НВ АУК*. 2023;4(72):379-388. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-38.

13. Боровой Е.П., Вольская О.Н., Чураков А.А. Совершенствование технологий очистки и активации подземных вод для эффективного использования в системе хозяйственно питьевого водоснабжения. *Волгоград. ВолгГТУ*, 2020.101 с. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_176.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Cheng Li. H., Xiong Zh. Zh., Cai Sh. [et al.]. Aeration-manganese sand filter-ultrafiltration to remove iron and manganese from water: *Oxidation effect and fouling behavior of manganese sand coated film*. *Journal of Water Process Engineering*. 2020;38:101621. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101621.

2. Marsidi N., Hasan H.A., Abdullah S.R.S. A review of biological aerated filters for iron and manganese ions removal in water treatment. *Journal of Water Process Engineering*. 2018.;23:1-12. DOI 10.1016/j.jwpe.2018.01.010.

3. Aziz, H.A., Tajarudin, H.A., Wei, T.H.L., and Alazaiza, M.Y.D., Iron and manganese removal from groundwater using limestone filter with iron-oxidized bacteria. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020;17(5):2667-2680. DOI 10.1007/s13762-020-02681-5.

4. Kholif M. Al, Sugito S., Pungut P., Sutrisno J. Kombinasi Tray Aerator Dan Filtrasi Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur. *Ecotrophic*. 2020;14(1):28. DOI 10.24843/ejes.2020.v14.i01.p03.

5. Bocharnikov V. S., Kozinskaya O. V., Denisova M. A., Bocharnikova O. V. The study of loading deposition modes using a hydraulic installation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*. 2020;1(57):260-267. (in Russ). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-26

6. Ariskina Yu.Yu., Mityaeva L.A., Domashenko Yu.Ye., Vasilyev S.M. Substantiation of filter-sorption loading efficiency during underground water purification. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*. 2019;4(36):31-42. (in Russ). DOI 10.31774/2222-1816-2019-4-31-42.

7. Shirsat M. D., Hianik T. Electrochemical Detection of Heavy Metal Ions Based on Nanocomposite Materials. *Journal of Composites Science*. 2023;7(11)473. DOI 10.3390/jcs7110473.

8. Huiping Z., Zhai, Longxue, Zhang Jn, Li D. As(V) adsorption by a novel core-shell magnetic nanoparticles prepared with Iron-containing water treatment residuals. *Science of The Total Environment*. 2020. V. 753. 142002. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142002.

9. Belyaev A.I., Borovoy E.P., Pugacheva A.M. [et al.]. Improving the quality of irrigation water by vacuum treatment. E3S Web of Conferences. International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023), Dushanbe, Republic of Tajikistan, 19–21 April 2023. *Les Ulis: EDP SCIENCES S A*, 2023; 392:01016. DOI 10.1051/e3sconf/202339201016.

10. Bocharnikov V. S., Denisova M. D., Tronev S. V. [et al.]. Degree of extraction of chemical impurities when optimizing the design parameters of sorption loading. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*. 2024. 2(74):309-315. (in Russ). DOI:10.32786/2071-9485-2024-02-37

11. Volskaya O. N., Churakov A. A., Borovoy E. P., Khalipovsky M. V. [Intensification of complex water purification of natural sources using a semi-automatic download filter]. *Bulletin of Volgograd State University of*



Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture. 2025;1(98):176-184. (in Russ). DOI: 10.35211/18154360_2025_1_176.

12. Borovoy E. P., Volskaya O. N., Grigorov S. M. [et al.]. Improving the quality of irrigation water by vacuum treatment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023;4(72):379-388. 2023;4(72):379-388. (in Russ). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-38.

13. Borovoy E. P., Volskaya O. N., Churakov A.A. Sovershenstvovanie tekhnologiy ochistki i aktivatsii podzemnykh vod dlya effektivnogo ispol'zovaniya v sisteme khozyajstvenno pit'evogo vodosnabzheniya (Improving technologies for the purification and activation of groundwater for its effective use in domestic drinking water supply systems). *Volgograd, 2020.101 p. (in Russ).* DOI: 10.35211/18154360_2025_1_176.

Author Contributions:

All authors contributed equally to the publication.

The authors declare no conflicts of interest.

Информация об авторах

Пахомов Александр Алексеевич, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград, Россия shvig31@mail.ru

Вольская Ольга Николаевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, Россия volskayao_8@mail.ru

Тронеv Сергей Викторович, д-р техн. наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград, Россия stronev@mail.ru

Чураков Алексей Александрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, Россия alexei.churakov@yandex.ru

Author Information

Aleksander A. Pakhomov, D.Sc. (Engineering), Professor, Department of Applied Geodesy, Environmental Engineering, and Water Use, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia shvig31@mail.ru

Olga N. Volskaya, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Building Structures, Foundations and Reliability of Structures, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia volskayao_8@mail.ru

Sergey V. Tronev, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Professor, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia stronev@mail.ru

Alexey A. Churakov, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Building Structures, Foundations and Reliability of Structures, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia alexei.churakov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 27.07.2026; одобрена после рецензирования 28.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 27.07.2026; approved after reviewing 28.08.2026; accepted for publication 16.09.2026.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК: 631.358

DOI: 10.36508/RSATU.2026.36.35.019

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОЛОТИЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ УБОРКЕ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Николай Анатольевич Ринас¹, Мария Александровна Кайгородова¹✉

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия

✉ Kajgorodovamaria38@gmail.com

Аннотация.

Проблема и цель. Уборка подсолнечника на маслосемена сталкивается с противоречием, которого нет при обмолоте зерновых. Чтобы полностью вымолотить корзину, нужно механически разрушить цветоложе, но это же воздействие повреждает оболочку семянки, в результате масло начинает теряться уже в поле (выдавливается в полову) и продолжает окисляться при хранении через микротрещины. Если перенести на подсолнечник обычные зерновые настройки молотилки, получается одно из двух: либо недомолот, либо дробление на уровне 15-20 %. При этом стандартный контроль микротрещины не выявляет. Задача работы – подобрать такие параметры настройки молотильного аппарата и очистки, чтобы травмирование семян и потери масла были минимальны.

Методология. В работе разобрано, как влияют на дробление семян влажность, физиологическая зрелость и конструкция молотилки. Также оценено, что даёт равномерная подача корзинок в барабан, какой тип деки лучше (прутковая или штампованная), и как режимы воздушной сепарации сказываются на сохранности семян. Предложена последовательность комплексной регулировки комбайна с обязательной проверкой на микротрещины.

Результаты. Показано, что наилучшие результаты дают: выходной зазор 12-16 мм, частота вращения барабана 300-500 об/мин (линейная скорость бича 8-12 м/с), входной зазор 25-35 мм. Если снизить обороты до 400 об/мин, пропускная способность падает на 15-20 %, зато удар сменяется трением и истиранием, а травмирование снижается. При выходном зазоре меньше 10 мм недомолот не превышает 0,5 %, но доля повреждённых семян доходит до 15-20 %. Если увеличить зазор до 14-18 мм, травмирование падает до 3-5 %, однако недомолот растёт до 2-3 %. Для подсолнечника на маслосемена лучше брать прутковую деку с увеличенным шагом прутков – она меньше травмирует. Применение всех рекомендаций вместе снижает потери масла на 15-25 % в сравнении с обычными зерновыми настройками.

Заключение. Чтобы убирать подсолнечник эффективно, от зерновых настроек нужно отказаться: требуются увеличенные зазоры, пониженные обороты барабана, прутковая дека, равномерная подача корзинок и точная регулировка вентилятора (её делают в последнюю очередь). Контроль желательнее проводить каждые 2 гектара – визуально и с помощью теста на микротрещины, потому что отсутствие видимой дроблёнки ещё не означает, что масло сохранится.

Ключевые слова: подсолнечник, обмолот, дробление семян, микротрещины, потери масла, эффект масляного пресса, дека, воздушная сепарация

Для цитирования: Ринас Н.А., Кайгородова М.А. Обоснование параметров молотильного аппарата при уборке подсолнечника // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.149-155 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.36.35.019](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.36.35.019)

Original article

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE THRESHING MACHINE DURING SUNFLOWER HARVESTING**Nikolay A. Rinas¹, Maria A. Kajgorodova¹**✉

¹Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

✉ Kajgorodovamaria38@gmail.com

**Abstract.**

Problem and purpose. Harvesting sunflower for oilseeds faces a contradiction that is not present in the threshing of cereals. To completely thresh the basket you need to destroy the receptacle mechanically, but this also damages the seed coat. As a result, the oil is lost in the field (squeezed out into the chaff) and continues to oxidize during storage through microcracks. If you use the standard grain settings for the threshing machine on sunflower, you will either get an incomplete threshing or a crushing rate of 15-20%. However, the standard control does not detect microcracks. The task of the work is to select such settings for the threshing machine and cleaning so that the damage to the seeds and the loss of oil are minimal.

Methodology. The work examines how moisture, physiological maturity and the design of the threshing machine affect the crushing of seeds. It was also evaluated what gives uniform feeding of baskets into the drum, which type of deck is better (rod or stamped) and how the air separation modes affect the safety of seeds. The sequence of complex adjustment of the combine with mandatory check for microcracks is proposed.

Results. It has been shown that the best results are achieved with an output gap of 12-16 mm, a drum rotation speed of 300-500 rpm (linear whip speed of 8-12 m/s), and an input gap of 25-35 mm. If the rotation speed is reduced to 400 rpm, the throughput decreases by 15-20%, but the impact is replaced by friction and abrasion, and the risk of injury is reduced. If the output gap is less than 10 mm, the under-grain does not exceed 0.5%, but the proportion of damaged seeds reaches 15-20%. If the gap is increased to 14-18 mm, the injury rate drops to 3-5%, but the under-grain increases to 2-3%. For sunflower seeds, it is better to use a bar deck with increased rod spacing — it is less traumatic. Applying all the recommendations together reduces oil losses by 15-25% compared to conventional grain settings.

Conclusion. To harvest sunflower effectively, grain settings should be abandoned: increased gaps, reduced drum speed, rod deck, uniform basket feed and precise fan adjustment (it is done last). It is advisable to carry out control every 2 hectares - visually and with the help of the microcracks test, because the absence of visible crushed does not mean that the oil will be preserved.

Key words: sunflower, threshing, crushing of seeds, microcracks, oil losses, oil press effect, deck, air separation

For citation: Rinas N.A., Kaigorodova M.A. Justification of the parameters of the threshing machine during sunflower harvesting // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P 149-155 <https://doi.org/>

Введение

Уборка подсолнечника на маслосемена связана с техническим противоречием, не встречающимся при обмолоте зерновых колосовых. Для полного вымолота корзинок необходимо механическое воздействие, способное разрушить цветоложе и отделить семена. Однако то же воздействие травмирует семянку — нарушает целостность оболочки. Потери масла возникают уже в поле (выдавливание в полову) и при хранении (окисление липидов через микротрещины).

Прямое перенесение зерновых настроек молотилки на уборку подсолнечника ведёт к двум крайним вариантам. В первом случае оператор уменьшает зазоры и повышает обороты барабана, добиваясь минимального недомолота, но получает дроблёнку на уровне 15-20 %. Во втором — увеличивает зазор и снижает обороты, сокращая травмирование, но теряет часть урожая с соломой. Проблема усугубляется тем, что видимая дроблёнка не отражает всей картины. Микротрещины оболочки при стандартном контроле не обнаруживаются, однако именно они служат основными каналами потерь масла при хранении [1].

Экономический аспект проблемы связан с потерями масла, обусловленными микротрещинами: при длительном хранении они могут достигать 10-15 % потенциального выхода масла. Это обстоятельство приобретает особую значимость для хозяйств, реализующих семена переработчикам с отсрочкой поставки. Согласно данным масложировой отрасли, каждый процент повреждённых при обмолоте семян снижает выход масла на стадии

экстракции на 0,3-0,5 %, а в процессе хранения дополнительные потери возникают вследствие окисления.

На итоговые потери масла влияют не только настройки молотильного аппарата, но также равномерность подачи корзинок в барабан, тип деки и регулировка воздушной сепарации. Все перечисленные факторы взаимосвязаны: ошибка в одном звене снижает эффективность остальных. Цель настоящей работы — определение рациональных регулировочных параметров молотильного аппарата (входного и выходного зазоров, частоты вращения барабана), при которых достигается оптимальное соотношение между полнотой обмолота и степенью сохранности семян подсолнечника при уборке на маслосемена.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служил процесс уборки подсолнечника на маслосемена. Работа выполнялась на зерноуборочных комбайнах типов «Нива», «Acros» и «Lexion». Оценивали влияние настроек молотильного аппарата (входного и выходного зазоров, частоты вращения барабана), типа деки, равномерности подачи корзинок и параметров воздушной сепарации на сохранность семян и потери масла [2].

В опытах использованы три районированных гибрида подсолнечника — «Санми» (среднеранний), «НК Рокки» (среднеспелый) и «НК Дели» (крупноплодный). Семена характеризовались следующими интервалами: длина семянки 8-14 мм, толщина оболочки 0,3-0,7 мм, масличность 44-50 %. Уборка проведена при влажности 7-14 %.



Схема опыта – трёхкратная повторность, размер делянок – не менее 2 га. Погодные условия в период экспериментов – типичные для зоны: температура 18-22° С, осадки не зафиксированы; влажность семян оставалась стабильной в течение дня. Фаза корзинок – жёлто-коричневая спелость. Для измерения влажности применяли влагомер «Фауна-М», для взвешивания – лабораторные весы (точность 0,01 г). Фиксировали четыре показателя: долю недомолота (в процентах), долю видимой дроблёнки (в процентах), долю семян с микротрещинами оболочки, а также визуально оценивали вынос целых семян в солому при настройке вентилятора. Микротрещины как скрытый дефект обычным просеиванием на решетках не выявлялись.

Микротрещины выявляли методом окрашивания семян 2%-ным раствором метиленового синего с последующим просмотром под бинокулярным микроскопом МБС-10 при увеличении 10-20 крат. Краситель проникает в повреждённые участки оболочки, обеспечивая их визуализацию. Объём пробы – не менее 100 семян.

Режимы работы молотилки меняли в следующих пределах:

- входной зазор от 16 до 35 мм;
- выходной зазор от 6 до 20 мм;
- частота вращения барабана от 250 до 600 об/мин (линейная скорость бича от 6 до 14 м/с) [3].

Испытания проходили на гибридах с разной крупностью семян и разной толщиной оболочки. После каждого прохода комбайна оценивали недомолот и дроблёнку. Скорость подачи массы в молотильный аппарат определяли через пропускную способность комбайна – 5-8 кг/с в зависимости от урожайности и скорости движения агрегата. Равномерность подачи оценивали по коэффициенту вариации толщины слоя массы на входе в барабан; измерения выполняли ультразвуковым датчиком. Равномерность подачи корзинок в барабан определяли визуально, а также по отсутствию рывков и пауз в работе молотилки. Тип деки (прутковая с увеличенным шагом или штампованная) подбирали в зависимости от влажности корзинок. Настройку вентилятора делали после того, как зазоры и обороты барабана уже выставлены: обороты вентилятора снижали постепенно до тех пор, пока целые семена не переставали выноситься в солому [4].

Методика оптимизации параметров базируется на многофакторном полевом эксперименте. Каждый из трёх регулируемых параметров – входной зазор, выходной зазор и частота вращения барабана – варьировали на трёх уровнях (нижнем, среднем и верхнем). Такой план эксперимента позволил построить однофакторные зависимости для каждого из трёх выходных показателей качества обмолота (доли недомолота, доли видимой дроблёнки и доли семян с микротрещинами) при фиксации двух остальных факторов. Обработка данных выполнена с использованием регрессионного анализа.

Рациональными в настоящей работе считаются такие значения параметров, при которых недомо-

лот не превышает 3 %, а суммарная доля повреждённых семян (видимая дроблёнка и микротрещины) минимальна в пределах исследованных диапазонов. Критерий оптимальности – минимум суммарных потерь масла, включающих потери от невымолоченных семян, уходящих с соломой, и потери от повреждения семян (дроблёнка и микротрещины, провоцирующие окисление масла при хранении).

Ограничения задачи: агротехнические требования к уборке подсолнечника (недомолот не более 3 %, дробление не более 5 %); конструктивные пределы регулировок молотильного аппарата (входной зазор 16-35 мм, выходной зазор 6-20 мм, частота вращения барабана 250-600 об/мин); физические ограничения, обусловленные влажностью семян (7-14 %) и сортовыми особенностями. Решение сводится к поиску зоны параметров, в которой все ограничения выполняются одновременно, а суммарные потери минимальны. Графически эта зона представляет собой пересечение частных зависимостей каждого из выходных показателей от исследуемых факторов.

Результаты исследований и их обсуждение

Установлено, что прочность семянки подсолнечника определяется двумя главными факторами: влажностью и физиологической зрелостью. При влажности выше 12-14 % оболочка пластична и устойчива к растрескиванию. При снижении влажности ниже 8 % оболочка становится хрупкой, и даже единичный удар бича с линейной скоростью более 12 м/с вызывает микротрещины. Интервал влажности 9-11 % характеризуется наибольшей сложностью обмолота: семена ещё недостаточно легко отделяются от цветоложа, тогда как оболочка уже утрачивает пластичность. В связи с этим для каждого уровня влажности необходима корректировка регулировочных параметров аппарата.

Образование микротрещин обусловлено ударным воздействием бича на семянку, вызывающим упругие деформации оболочки. При пониженной влажности релаксация напряжений затруднена, вследствие чего в оболочке возникают локальные перенапряжения, превышающие её прочностной предел. Результат – микроскопические разрывы, не фиксируемые визуально.

В фазе жёлто-коричневых корзинок усилие отделения семян от цветоложа снижается, что благоприятно для обмолота. Однако задержка уборки ведёт к осыпанию, а преждевременная уборка зелёных корзинок требует повышенного механического воздействия и травмирует семена [5].

Наряду с влажностью и степенью зрелости, выбор параметров обмолота определяется крупностью семян. Для мелкосемянных гибридов (длина семянки до 10 мм) рекомендованы уменьшенные зазоры: входной 25-28 мм, выходной 12-14 мм, а также пониженная частота вращения барабана – 300-350 об/мин. Для крупноплодных гибридов (длина более 12 мм), напротив, требуются увеличенные зазоры (входной 30-35 мм, выходной 14-16 мм) и более высокие обороты – 400-500 об/мин. Различия обусловлены большей массой и толщи-



ной оболочки крупных семян, что требует повышенного механического воздействия для отделения от цветоложа и одновременно обеспечивает большую прочность оболочки.

Показано, что штатные диапазоны зазоров зерновых комбайнов (16-24 мм на входе, 4-8 мм на выходе) для подсолнечника непригодны. Оптимальный входной зазор для щадящего захвата корзинок составляет 25-35 мм. Меньшие значения вызывают раздавливание корзинок о переднюю кромку деки с выдавливанием масла до начала обмолота – в хозяйствах это называют эффектом масляного пресса. С увеличением входного зазора от 16 до 25 мм доля недомолота возрастает незначительно – с 0,3 до 0,8 %. Одновременно доля семян с микротрещинами снижается с 12 до 4 %, что обусловлено уменьшением давления на корзинку в зоне входа. При входном зазоре свыше 35 мм недомолот достигает 3-4 %, что делает дальнейшее увеличение зазора нецелесообразным. Таким образом, в качестве рационального принят диапазон входного зазора 25-35 мм [6].

Наиболее критичным параметром оказался выходной зазор. При его значении менее 10 мм недомолот снижается до 0,5 %, однако доля семян с нарушенной оболочкой (дроблёнка и микротрещины) возрастает до 15-20 %. При увеличении зазора до 14-18 мм количество повреждённых семян падает до 3-5 %, но недомолот повышается до 2-3 %. Оптимальным признан диапазон выходного зазора 12-16 мм в зависимости от крупности гибрида. Доля видимой дроблёнки в зависимости от выходного зазора изменяется по экспоненциальному закону: в интервале 8-12 мм её значение снижается с 12 до 5 %, при дальнейшем увеличении зазора темпы уменьшения дробления замедляются. В отличие от этого, зависимость недомолота от выходного зазора имеет линейный характер – прирост составляет около 0,2 % на каждый миллиметр увеличения зазора. Зона пересечения указанных зависимостей соответствует интервалу 12-16 мм, в котором суммарный показатель потерь (недомолот и повреждённые семена) достигает минимума [7].

По оборотам барабана выявлено, что стандартные для зерновых 700-900 об/мин неприменимы. Критическая линейная скорость бича для сухих семян (влажность 7-8 %) составляет около 10 м/с, для влажных (12-14 %) – около 12-13 м/с. При диаметре барабана 600-800 мм этому соответствует частота вращения 300-500 об/мин. Режим 300-350 об/мин – щадящий, применяется на сухих легкообмолачиваемых гибридах. Режим 450-500 об/мин допустим только при влажности выше 12 % и толстой оболочке. Снижение оборотов до 400 об/мин уменьшает пропускную способность молотилки на 15-20 %, но меняет физику процесса: преобладающим становится не удар, а истирание и трение (дековый обмолот), что снижает травмирование. В зависимости доли микротрещин от частоты вращения барабана обнаружен пороговый характер. В интервале 250-400 об/мин показатель увеличивается с 2 до 5 %. Превышение частоты 500 об/мин сопровождается скачкообразным ростом доли микротрещин до 15 %

и выше – эффект обусловлен превышением предела прочности оболочки семян под действием ударной нагрузки. Для семян повышенной влажности пороговое значение частоты смещается в диапазон 550-600 об/мин. [8].

В течение рабочего дня влажность семян может изменяться на 3-5 % в зависимости от времени суток и метеоусловий, что обуславливает необходимость оперативной корректировки настроек. В утренние часы, при повышенной влажности, допустима работа на увеличенных оборотах; в середине дня, по мере подсыхания семян, частоту вращения следует снижать на 50-100 об/мин во избежание резкого роста микротрещин. Выходной зазор также целесообразно регулировать во второй половине дня: подсыхание корзинок сопровождается уменьшением их объёма и увеличением эффективного зазора, поэтому рекомендуется уменьшать его на 1-2 мм при снижении влажности на каждые 2-3 %.

Наряду с тремя основными параметрами, качество обмолота в значительной степени зависит от скорости подачи массы. При повышении пропускной способности с 5 до 8 кг/с доля недомолота возрастает в среднем на 1,5 % для всех исследованных режимов из-за увеличения толщины слоя корзинок, вследствие чего верхние корзинки подвергаются менее интенсивному воздействию бичей. Одновременно доля дроблёнки снижается примерно на 1-2 % за счёт амортизирующего эффекта более толстого слоя массы. Оптимальный интервал подачи – 6-7 кг/с, в котором достигается наилучшее соотношение между полнотой обмолота и сохранностью семян. Превышение данного диапазона требует либо увеличения оборотов барабана, что ведёт к повреждению семян, либо снижения поступательной скорости комбайна.

Анализ совместного влияния параметров необходим, поскольку в реальных условиях эксплуатации они действуют не изолированно. Эффект увеличения выходного зазора зависит от частоты вращения барабана: при 300-350 об/мин расширение зазора с 10 до 16 мм снижает долю повреждённых семян с 12 до 3 %, тогда как при 500 об/мин аналогичное изменение зазора даёт снижение лишь с 18 до 10 %. Следовательно, при высоких оборотах увеличение зазора не компенсирует ударное воздействие бичей в полной мере, и приоритетным направлением регулировки становится уменьшение частоты вращения.

Аналогичная взаимосвязь прослеживается между входным и выходным зазорами. При входном зазоре менее 25 мм увеличение выходного зазора слабо влияет на дробление, поскольку основное повреждение семян происходит уже на входе (эффект масляного пресса). Лишь при входном зазоре более 28 мм регулировка выходного зазора становится действенным инструментом управления качеством. Отсюда следует приоритет регулировок: первоначально устанавливают входной зазор (не менее 25-28 мм), затем выходной зазор (12-16 мм) и в последнюю очередь корректируют частоту вращения барабана. Попытка компенсировать малый входной зазор большим



выходным не даёт результата, поскольку семена повреждаются до зоны основного обмолота.

С учётом взаимовлияния параметров предложены следующие комбинации настроек. Для сухих семян (влажность 7-8 %) и мелкосемянных гибридов: входной зазор 28-30 мм, выходной 14-16 мм, частота 300-350 об/мин. Для влажных семян (12-14 %) и крупноплодных гибридов: входной зазор 30-35 мм, выходной 12-14 мм, частота 400-500 об/мин. Промежуточные режимы определяют интерполяцией по влажности и крупности.

Графически совместное влияние параметров описывается трёхмерной поверхностью отклика. Зона оптимальных значений ограничена недомолом не более 3 % и суммарным повреждением семян не более 5 % и имеет форму эллипсоида с центром (входной зазор 30 мм, выходной 14 мм, частота 400 об/мин), что соответствует предложенным диапазонам.

Отдельное внимание уделено равномерности подачи корзинок. При прерывистой подаче барабан раскручивается вхолостую, затем резко захватывает новую порцию массы, вызывая слишком сильный удар и выдавливание масла на входе – тот же эффект масляного пресса. При избыточно плотной подаче семена не обмолачиваются, а протискиваются сквозь зазор, что также увеличивает дробление.

Предельно допустимое значение коэффициента вариации толщины слоя массы на входе в барабан – 15 %. Превышение данного порога обуславливает нестабильность показателей обмолота. Для поддержания равномерной подачи целесообразно использовать мотовило с регулируемой частотой вращения и дифференцировать скорость комбайна в зависимости от урожайности культуры.

Сравнение типов деки показало, что для уборки на маслосемена предпочтительнее прутковая дека с увеличенным шагом прутков. Она создаёт меньше трения: семена быстрее проваливаются в подбарабанье, и многократного истирания между бичами и прутками не происходит. Штампованная дека обеспечивает более полный оборот, но увеличивает контакт семян с поверхностью, что ведёт к микротрещинам и окислению масла. Её применение оправдано только при влажности корзинок выше 16 %, когда требуется интенсивный обмолот [9].

При настройке воздушной сепарации установлено: чрезмерный поток воздуха выносит целые семена в солому, а недостаточный не удаляет лузгу полностью, повышая содержание примесей и ухудшая хранение. Оптимальная регулировка вентилятора достигается постепенным снижением оборотов до момента прекращения выноса семян. Качество сепарации напрямую зависит от степени дробления семян на предыдущих этапах. Дроблёные частицы обладают иной парусностью, чем целые, что нарушает предсказуемость разделения фракций. Поэтому настройку вентилятора выполняют в последнюю очередь – после окончательной регулировки зазоров и оборотов барабана. [10.]

Если свести полученные данные в единый перечень рекомендаций, то получается следующее:

входной зазор 25-35 мм, выходной зазор 12-16 мм, частота вращения барабана 300-500 об/мин, прутковая дека, равномерная подача корзинок и точно отрегулированный вентилятор. Выполнение всех этих условий снижает потери масла на 15-25 % по сравнению с обычными зерновыми настройками. Контроль желательно проводить через каждые 2 гектара – визуально и с помощью теста на микротрещины, потому что отсутствие видимой дроблёнки ещё не означает, что масло при хранении не испортится [11].

Заключение

Для подсолнечника не подходят настройки мототилки, которые используют на зерновых. Эффективная работа возможна при увеличенном выходном зазоре (12-16 мм) и пониженных оборотах барабана (300-500 об/мин). Если снизить обороты до 400 об/мин, пропускная способность падает на 15-20 %, зато ударная деформация сменяется истиранием и трением, и семена травмируются меньше. При увеличении входного зазора от 16 до 25 мм недомолот возрастает с 0,3 до 0,8 %, тогда как доля микротрещин снижается с 12 до 4 % (трёхкратное уменьшение). Повышение зазора сверх 35 мм приводит к росту недомола до 3-4 %, вследствие чего дальнейшее расширение зазора не представляется рациональным. Входной зазор меньше 25 мм опасен: крупные корзинки раздавливаются о переднюю кромку деки, и масло выдавливается ещё до обмолота – это называют эффектом масляного пресса. В интервале выходного зазора 8-18 мм недомолот снижается с 3 до 0,5 % при уменьшении зазора, а повреждение семян увеличивается с 3-5 до 15-20 %. Диапазон 12-16 мм обеспечивает наилучший баланс между этими показателями. При выходном зазоре менее 10 мм недомолот не превышает 0,5 %, но доля повреждённых семян доходит до 15-20 %. Если увеличить зазор до 14-18 мм, число травмированных семян падает до 3-5 %, однако недомолот растёт до 2-3 %. Оптимальный выходной зазор – 12-16 мм, точное значение зависит от размера семян гибрида.

В качестве обоснования рекомендованных диапазонов параметров служат экспериментальные зависимости каждого из трёх показателей качества обмолота (недомолат, видимая дроблёнка, микротрещины) от входного и выходного зазоров, а также от частоты вращения барабана. На основе этих зависимостей определена область, в которой достигается баланс между полнотой вымолота и сохранностью семян.

Микротрещины оболочки не обнаруживаются при обычном контроле (просеиванием на решетах). Но при хранении через них уходит влага и начинается окисление масла. Так что отсутствие видимой дроблёнки ещё не означает, что масло сохранится. Для выявления скрытых дефектов полезен тест с окрашиванием. Зависимость доли микротрещин от частоты вращения барабана носит пороговый характер. В диапазоне 250-400 об/мин показатель увеличивается с 2 до 5 %; при частоте свыше 500 об/мин наблюдается скачкообразный рост до 15 % и выше. Пороговый эффект связан с переходом энергии соударения



через предел прочности оболочки семян с низкой влажностью.

Многое зависит от того, как подаются корзинки в барабан. При прерывистой подаче барабан раскручивается вхолостую, потом резко хватает новую порцию массы и раздавливает семена на входе. При избыточно плотной подаче семена не обмолачиваются, а протискиваются сквозь зазор. И в том, и в другом случае масло теряется. Равномерности добиваются настройкой мотвила и выбором скорости комбайна, чтобы не было перегрузок.

Из двух типов деки для подсолнечника на маслосемена лучше прутковая – с увеличенным шагом прутков. Она создаёт меньше трения, семена быстрее проваливаются вниз и не перетираются многократно.

Штампованную деку стоит ставить только при влажности корзинок выше 16 %, когда нужен интенсивный обмолот, но это всегда повышает повреждение оболочки.

Качество воздушной сепарации напрямую зависит от того, сколько дроблёных семян получилось на предыдущих этапах. Разрушенные семена ведут себя в потоке воздуха иначе, чем целые, и отделить лузгу от ядра становится труднее. Вентилятор регулируют в последнюю очередь, после того как настроены зазоры и обороты барабана. Воздушный поток подбирают так, чтобы мусор уносился в солому, а целые семена оставались на решетках. Простой ориентир: в отходящей соломе не должно быть видно целых семян.

Для практической реализации результатов предложена следующая последовательность действий:

1. Определение влажности семян и крупности гибрида.
2. Установка входного зазора в диапазоне 25-35 мм в зависимости от крупности корзинок.
3. Установка выходного зазора 12-16 мм с учётом размера семян.
4. Выбор частоты вращения барабана 300-500 об/мин в зависимости от влажности.
5. Регулировка вентилятора до прекращения выноса целых семян.
6. Контрольный обмолот с последующей корректировкой настроек при необходимости.
7. Контроль параметров через каждые 2 га, а также при изменении влажности в течение дня: при снижении влажности на 2-3 % уменьшать выходной зазор на 1-2 мм, при изменении влажности на 3-5 % корректировать частоту вращения на 50-100 об/мин.

Если собрать все рекомендации вместе – входной зазор 25-35 мм, выходной зазор 12-16 мм, обороты барабана 300-500 об/мин, прутковая дека, равномерная подача и точная настройка вентилятора – потери масла снижаются на 15-25 % по сравнению с обычными зерновыми настройками. Экономическая эффективность применения предложенных параметров определяется двумя составляющими. Прямой эффект – снижение потерь масла в поле на 15-25 % за счёт уменьшения недомолота и повреждения семян. Косвенный эффект – сохранение качества масла при хранении благодаря снижению доли микротрещин, что позволяет увеличить выручку от ре-

лизации маслосемян на 5-10 %. При урожайности 2,5 т/га и площади уборки 100 га экономический эффект оценивается в 150-300 тыс. рублей в зависимости от рыночных цен на маслосемена.

Последовательность практических действий: установка зазоров и частоты вращения барабана, затем регулировка вентилятора. Контроль параметров выполняют через каждые 2 га с использованием визуальной оценки и теста на микротрещины.

Направления дальнейших исследований включают разработку автоматизированной системы контроля и регулировки параметров молотильного аппарата в реальном времени с учётом влажности и крупности поступающей массы, а также изучение влияния конструктивных особенностей бичей и деки на качество обмолота. Перспективно также исследование совместного влияния всех трёх регулируемых параметров (входного и выходного зазоров, частоты вращения) методами математического моделирования для построения полной поверхности отклика.

Список источников

1. Соснин М. Д., Шорсткий И. А. Поглощающие и отражательные характеристики мятки семян подсолнечника в СВЧ-диапазоне. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2021;1(379):73–77. DOI 10.26297/0579-3009.2021.1.17.
2. Старков Ю. А., Сиюхов Х. Р., Сиюхова Б. Б., Дедусенко Н. А. Инновационные технологии в области переработки семян подсолнечника. *Актуальные вопросы науки и образования*. 2024;1:97–100.
3. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А., Мокиев В. Ю. Определение оптимальных режимов работы клевротерки-скарификатора КС-0,3П при скарификации. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(6):1049–1056. DOI 10.30766/2072-9081.2023.24.6.1049-1056.
4. Шафоростов В. Д., Макаров С. С., Кочуров Г. В. Молотилка для обмолота отдельных корзинок подсолнечника. *Масличные культуры*. 2021;1(185):63–66. DOI 10.25230/2412-608X-2021-1-185-63-66.
5. Погосян В. М., Соколенко О. Н. К расчету молотильного устройства с бильным барабаном при обмолоте кукурузы. *Аграрный научный журнал*. 2026;2:145–150. DOI 10.28983/asj.y2026i2pp145-150.
6. Киреев И. М., Коваль З. М., Зимин Ф. А. Распределение семян подсолнечника в рядок в зависимости от скоростных режимов работы пневматического высевающего аппарата. *Техника и оборудование для села*. 2021;8(290):14–17. DOI 10.33267/2072-9642-2021-8-14-17.
7. Овчарова Н. В., Беляев В. И., Пестунов И. А. [и др.]. Структура урожая подсолнечника при дифференцированном посеве. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2025;55,7(320):42–55. DOI 10.26898/0370-8799-2025-7-5.
8. Хамуев В. Г., Пехальский И. А., Герасименко С. А., Борзенко С. И. Разработка рабочего органа вертикального пневмоканала для очистки шрота подсолнечника. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2024;5(77):402–



411. DOI 10.32786/2071-9485-2024-05-45.

9. Жалнин Э. В., Чаплыгин М. Е. Динамика фракционного состава зерносомистой массы, обмолачиваемой в молотильном аппарате зерноуборочного комбайна. *Инженерные технологии и системы*. 2022;32(2):249–262. DOI 10.15507/2658-4123.032.202202.249-262.

10. Чурилова Э. Ю. Производство подсолнечника и подсолнечного масла в РФ: тенденции и

прогнозы. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2024;19,4(76):153–160. DOI 10.12737/2073-0462-2024-153-160.

11. Летучий А. В., Пшенцова А. И., Минеева Л. Н. [и др.]. Управление технологическим процессом производства подсолнечника. *Аграрный научный журнал*. 2024;9:30–34. DOI 10.28983/asj.y2024i9pp30-34.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References

1. Sosnin M. D., Shorstkii I. A. Microwave absorption and reflection properties of grinded sunflower seeds. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*. 2021;1(379):73–77. (In Russ.). DOI 10.26297/0579-3009.2021.1.17.
2. Starkov Yu. A., Siyukhov Kh. R., Siyukhova B. B., Dedusenko N. A. Innovacionnye tekhnologii v oblasti pererabotki semyan podsolnechnika (Innovative technologies in sunflower seed processing). *Aktual'nye voprosy nauki i obrazovaniya*. 2024;(1):97–100. (In Russ.)
3. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazukin V. A., Mokiev V. Yu. Determination of the optimal modes of operation of the clover grater and scarifier KS-0.3 P during scarification. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(6):1049-1056. (In Russ.). DOI 10.30766/2072-9081.2023.24.6.1049-1056.
4. Shaforostov V. D., Makarov S. S., Kochurov G. V. Thresher for threshing of the individual sunflower heads. *Oil Crops*. 2021;1(185):63–66. (In Russ.). DOI 10.25230/2412-608X-2021-1-185-63-66.
5. Pogosyan V. M., Sokolenko O. N. For calculating the threshing device with a beater drum when threshing corn. *The Agrarian Scientific Journal*. 2026;(2):145–150. (In Russ.). DOI 10.28983/asj.y2026i2pp145-150.
6. Kireev I. M., Koval Z. M., Zimin F. A. Distribution of sunflower seeds in a row depending on the speed modes of operation of the pneumatic dropping device. *Machinery and equipment for rural area*. 2021;8(290):14–17. (In Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2021-8-14-17.
7. Ovcharova N. V., Belayev V. I., Pestunov I. A. [et al.]. Sunflower yield structure at differentiated sowing. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2025;55,7(320):42–55. (In Russ.). DOI 10.26898/0370-8799-2025-7-5.
8. Khamuev V. G., Pehalsky I. A., Gerasimenko S. A., Borzenko S. I. Development of the working body of a vertical pneumatic channel for cleaning sunflower meal. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024;5(77):402-411. (in Russ). DOI:10.32786/2071-9485-2024-05-45.
9. Zhalnin E. V., Chaplygin M. E. Dynamics of Fractional Composition of Grain-and-Straw Mass Being Threshed in the Threshing Mechanism of a Combine Harvester. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):249–262. (in Russ). DOI 10.15507/2658-4123.032.202202.249-262.
10. Churilova E. Yu. Sunflower and sunflower oil production in the Russian Federation: trends and forecasts *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2024;19,4(76):153–160. (in Russ). DOI 10.12737/2073-0462-2024-153-160.
11. Letuchy A. V., Pshentsova A. I., Mineeva [et al.]. Management of the technological process of sunflower production. *The Agrarian Scientific Journal*. 2024;(9):30–34. (In Russ.). DOI 10.28983/asj.y2024i9pp30-34.

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

Ринас Николай Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия mr.rinas@mail.ru

Кайгородова Мария Александровна, студент, кафедра генетики, селекции и семеноводства факультета агрономии и экологии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия kajgorodovamaria38@gmail.com

Author Information

Nikolay A. Rinas, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia mr.rinas@mail.ru

Maria A. Kajgorodova, student, Department of Genetics, Breeding, and Seed Production, Faculty of Agronomy and Ecology, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia kajgorodovamaria38@gmail.com

Статья поступила в редакцию 29.05.2026; одобрена после рецензирования 2.07.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 29.05.2026; approved after reviewing 2.07.2026; accepted for publication 16.09.2026.



Вестник РГАТУ, 2026, т.18, №3, с.156-162
Vestnik RGATU, 2026, Vol.18, №3, pp. 156-162

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.6
DOI: 10.36508/RSATU.2026.83.95.024

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ВСАСЫВАЮЩИХ ТРУБОПРОВОДОВ
С ВВОДОМ УДОБРЕНИЙ В ОРОСИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ

Владимир Александрович Рудаков¹, Анна Александровна Каратунова¹, Вадим Николаевич Ширяев^{1✉}, Карина Александровна Дегтярева²

¹ НИМИ имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Новочеркасск, Россия

² ФГБОУ ВО Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

✉ vadik334@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Цель – по эксплуатируемой всасывающей линии насосного оборудования мелиоративных насосных станций теоретически обосновать наличие отрицательной энергии (всасывающей способности) в точке ввода удобрений для назначенных линий и гидравлических параметров всасывающего трубопровода: диаметра, длины, скорости потока в трубопроводе (D_s , L_s , V_s) и разницы отметок водоисточника и оси насоса H_s .

Методология. По вычисленной величине отрицательной энергии определяются параметры линии подачи удобрений: напора H_0 , длины L_y и диаметра D_y по назначенной скорости потока V_y . Для примера насосного оборудования принят агрегат Д 1250-125, приведена его табличная напорно-расходная характеристика и схема ввода линий всасывающего трубопровода и удобрений.

Результаты. По назначенным, в пределах возможных, максимальным параметрам всасывающей линии на проектируемых насосных станциях РФ рассчитаны по матрице планирования суммарные потери напора $\sum h_w$ и величины отрицательной энергии $\mathcal{E}_s$ в точке ввода удобрений перед всасывающим фланцем насосного агрегата для $D_s=0,2-0,3$ м, $L_s=50-150$ м, $V_s=0,5-1,5$ м/с, $H_s=2-6$ м. При обработке полученных результатов вычислены коэффициенты B_1 , B_2 , B_3 , B_4 и величина свободного члена B_0 для зависимости $\mathcal{E}_s = f(D_s, L_s, V_s, H_s)$. Сравнение теоретически расчётных данных и полученных по выведенной зависимости показало максимальное расхождение 5 % и возможность использования для расчета промежуточных значений параметров в пределах максимальных.

Закключение. Выведенная зависимость для вычисления параметров всасывающего трубопровода диаметра D_s и длины трубопровода L_s , скорости V_s и разности отметок H_s оси насоса и водоисточника позволяет вычислять величину максимальной отрицательной энергии $\mathcal{E}_s$ (всасывающей способности) в точке ввода удобрений.

Ключевые слова: минеральные удобрения, оросительная сеть, всасывающий трубопровод, насосная станция, гидромеханическое оборудование

Для цитирования: Рудаков В.А., Каратунова А.А., Ширяев В.Н., Дегтярева К.А. Теоретический анализ работы всасывающих трубопроводов с вводом удобрений в оросительную сеть // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.156-162 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.83.95.024>

Original article

THEORETICAL ANALYSIS OF THE OPERATION OF SUCTION PIPELINES
INTRODUCING FERTILIZERS INTO AN IRRIGATION NETWORK

Vladimir A. Rudakov¹, Anna A. Karatunova¹, Vadim N. Shiryayev^{1✉}, Karina A. Degtyareva²

© Рудаков В.А., Каратунова А.А., Ширяев В.Н., Дегтярева К.А., 2026 г.



✉ vadik334@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. The purpose of the paper is to develop a theoretical justification for the presence of negative energy (suction capacity) at the fertilizer injection point for the designated lines and hydraulic parameters of the suction pipeline diameter, length, flow velocity in the pipeline (D_s , L_s , V_s) and the difference between the markings of the water source and the axis of the pump H_s according to the operated suction line of pumping equipment of reclamation pumping stations.

Methodology. According to the calculated value of the negative energy, the parameters of the fertilizer supply line are determined: the head H_0 , the length L_v , and the diameter D_v based on the assigned flow rate V_v . As an example of pump equipment, the D 1250-125 unit is used, and its table-based pressure-flow characteristic and the diagram of the suction pipeline and fertilizer lines are provided.

Results. According to the assigned maximum parameters of the suction line at the projected pumping stations of the Russian Federation, the total pressure loss $\sum h_w$ and the negative energy value $\mathcal{E}_s$ at the point of fertilizer injection before the suction flange of the pumping unit for $D_s=0,2-0,3$ m, $L_s=50-150$ m, $V_s=0,5-1,5$ m/s, and $H_s=2-6$ m were calculated using the planning matrix. When processing the obtained results, the coefficients B_1 , B_2 , B_3 , B_4 and the value of the free term B_0 for the dependence $\mathcal{E}_s = f(D_s, L_s, V_s, H_s)$ were calculated. A comparison of the theoretically calculated data and those obtained from the derived dependence showed a maximum discrepancy of 5% and the possibility of using the intermediate values of the factors within the maximum values for calculating.

Conclusion. The derived dependence for calculating the parameters of the suction pipeline diameter D_s and the length of the pipeline L_s , the velocity V_s , and the difference in elevation H_s between the pump axis and the water source, allows for calculating the maximum negative energy $\mathcal{E}_s$ (suction capacity) at the point of fertilizer injection.

Key words: mineral fertilizers, irrigation network, suction pipeline, pumping station, hydromechanical equipment

For citation: Rudakov V. A., Karatunova A. A., Shiryayev V. N., Degtyareva K. A. Theoretical analysis of the operation of suction pipelines introducing fertilizers into an irrigation network // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P. 156-162 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.83.95.024>

Введение

Известно, что энергия потока во всасывающих трубопроводах делится на кинетическую $\frac{V_B^2}{2g}$ (скоростной напор, V_B – средняя скорость) и потенциальную $\frac{P_B}{g\rho_0}$ (P_B – удельная энергия, отнесённая к единице массы транспортируемой жидкости, измеряемая на основании уравнения Д. Бернулли в метрах водяного столба). В напорных и всасывающих трубопроводах гидромеханического оборудования энергия в процессе эксплуатации, в зависимости от места нахождения потребителя и отметки уровня воды в водоисточнике, постоянно меняется и в основном в меньшую сторону, так как при проектировании насосы подбираются на максимальный напор и минимальную отметку водоисточника.

Подбор необходимой потребляемой мощности по изменению частоты подведённого тока и соответственно оборотов двигателя (инвертирование) проводится в основном для напряжения в сети 380 В и потребляемой мощности до 200-300 кВт, что исключает его использование на построенных мелиоративных станциях как в РФ, так и в странах ближнего зарубежья [1]. Для ввода в режим оптимального напора и расхода (КПД) на насосных станциях машинистами используется режим дросселирования (прикрытие задвижек на напорных трубопроводах в здании насосной

станции), что влечёт за собой дополнительные существенные неоправданные затраты энергии [2,3]. Кроме того, на мелиоративных насосных станциях при выращивании сельхозпродукции в напорный трубопровод при орошении вводятся удобрения с использованием насосов-дозаторов, сложных по устройству, дорогостоящих, не удовлетворяющих по характеристикам эксплуатируемым агрегатам [4].

Всасывающие трубопроводы гидромеханического оборудования оказывают основное влияние на эксплуатационные характеристики мелиоративных насосных станций, от расчёта которых зависят все гидравлические параметры напорной сети (напор, расход, КПД). Кроме того, всасывающие трубопроводы играют существенную роль в сроке эксплуатации элементов насоса, внутренней поверхности корпуса и основного рабочего органа – рабочего колеса. Энергия во всасывающем трубопроводе различается на положительную, когда ось насоса ниже отметки водоисточника или последовательном соединении агрегатов, и отрицательную; в таком случае ось насоса выше отметки водоисточника. В первом случае при положительной энергии ввод удобрений во всасывающий трубопровод не имеет смысла, так как фактически производится в напорный трубопровод. В случае наличия отрицательной энергии ввод производится методом всасывания во входной патрубок насоса как основного потока, так и удобрений [5].

Одним из способов повышения эффективности работы насосных станций является улучшение



их эксплуатационных показателей. В связи с этим, известно, что в гидроподкормщиках систем малоинтенсивного орошения наибольшее применение получили эжекторы. Работа осуществляется по принципу струйного насоса: обязательное наличие трубы Вентури, в центре которой, где образуются кинетические скорости потока, всасывается инжектируемая жидкость – раствор удобрений. В отличие от известных типов и конструкций насосов в струйных насосах отсутствуют какие-либо вращающиеся или перемещающиеся элементы, что определяет их высокую эксплуатационную надежность [6,7].

В связи с вышеизложенным возникает вопрос

возможности и необходимости использования отрицательной энергии во всасывающих трубопроводах насосных агрегатов для внесения удобрений в оросительную сеть.

Материалы и методы исследования

Максимальная отрицательная энергия во всасывающем трубопроводе для ввода удобрений может достигать по величине выше кавитационного запаса (рис. 1) оборудования при абсолютном давлении от 0,24 м до -10 м водяного столба (фактически -9,76 м при температуре воды + 20° С). Ниже приводится теоретический расчет с учетом возможности наличия отрицательной энергии -9,76 м.

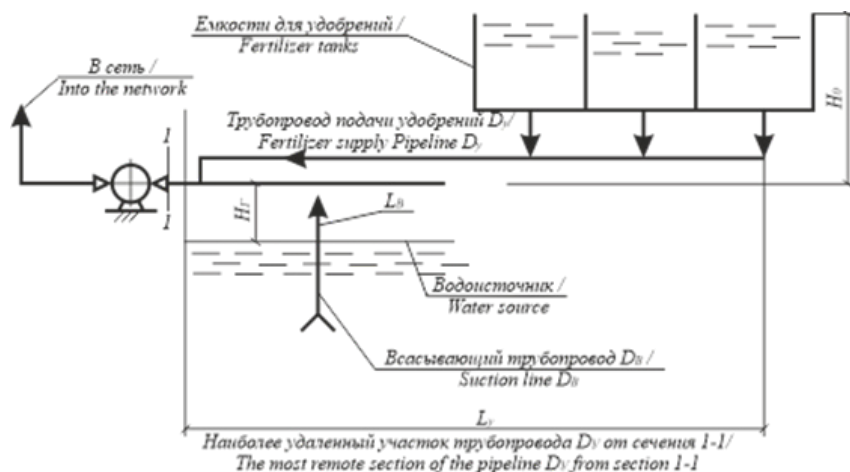


Рис. 1 – Схема установки насоса с отрицательной энергией во всасывающем трубопроводе
Fig. 1 – Installation diagram of a negative energy pump in the suction pipeline

При расчете возможности ввода удобрений необходимо, при наличии эксплуатируемого всасывающего трубопровода, используя характеристику установленного оборудования и смонтированного всасывающего трубопровода, вычислить величину отрицательной энергии.

Наличие максимальной отрицательной энергии $\mathcal{E}_в$ во всасывающем трубопроводе зависит от четырех факторов – диаметра D_v (x_1), длины L_v (x_2), скорости потока V_v (x_3) и разницы отметок H_r (x_4) оси насоса и поверхности водоисточ-

ника. При всех эксплуатационных вариантах насосного оборудования вышеуказанные факторы являются независимыми и оказывают основное влияние на суммарные потери напора $\sum h_w$, являющиеся основным слагаемым в определении величины $\mathcal{E}_в$, рассчитываемой по зависимости $\mathcal{E}_в = f(D_v, L_v, V_v, H_r)$.

В качестве примера приводится центробежный насос D1250-125 (характеристика в табличном виде показана в таблице 1) с возможными параметрами всасывающей линии [8].

Таблица 1 – Табличная характеристика центробежного насоса D1250-125
(максимальная высота всасывания $H_в=4,4$ м при КПД 0,79) [8]

№ п/п	Подача, м³/с	Напор, м	Потребляемая мощность, кВт	Высота всасывания $H_в$, м	КПД
1	0,47	72	540	1,7	0,60
2	0,44	78	510	2,4	0,68
3	0,38	90	490	3,3	0,70
4	0,34	114	425	4,4	0,79
5	0,22	119	315	3,5	0,74
6	0,15	120	305	3,0	0,58

Расчётные данные по наличию отрицательной энергии во всасывающем трубопроводе в диапазонах величин для $D_v=0,2-0,3$ м; для $L_v=50-150$ м; для $V_v=1-2$ м/с и $H_r=2-6$ м показаны в таблице 2.

Для теоретического обоснования наличия отрицательной энергии во всасывающих трубопроводах насосного оборудования приняты оптимальные, используемые в настоящее время в проектировании мелиоративных насосных станций, величины D_v , L_v , V_v и H_r , для которых имеется возможность определить всасывающую способность трубопровода для транспортировки удобрений [9] (табл. 3).

Принятые размеры, в основном с увеличенным диапазоном, при монтаже фактически значительно отличаются, находясь в приведённых зонах. Для точного расчёта по конкретным величинам в настоящей работе используется теория В.А. Вознесенского для вывода уравнения с кодированием факторов (табл. 4).



Таблица 2 – Характеристика всасывающей линии насосного оборудования (коэффициент гидравлического сопротивления λ принят 0,15)

№ п/п	Диаметр всасывающего трубопровода D_B , м	Длина всасывающего трубопровода L_B , м	Скорость во всасывающем трубопроводе V_B , м/с	Разница отметок оси насоса и водоисточника H_r , м	Суммарные потери напора $\sum h_w = 1,1 \cdot \lambda \cdot \frac{L_B}{D_B} \cdot \frac{V_B^2}{2g}$, м	Отрицательная энергия $\sum h_w + H_r$, м (по теоретическому расчету)
1	0,20	50	1,0	2,0	2,10	4,10
2	0,30	50	1,0	2,0	1,40	3,40
3	0,20	150	1,0	2,0	6,30	8,30
4	0,30	150	1,0	2,0	4,20	6,20
5	0,20	50	2,0	2,0	8,40	10,40
6	0,30	50	2,0	2,0	0,015	2,015
7	0,20	150	2,0	6,0	2,52	8,52
8	0,20	50	1,0	6,0	2,10	8,10
9	0,30	150	2,0	2,0	16,81	18,81
10	0,20	50	1,0	2,0	2,10	4,10
11	0,30	150	1,0	2,0	6,30	8,30
12	0,25	100	1,5	4,0	7,56	9,56

Таблица 3 – Кодирование переменных D_B , L_B , V_B , H_r

Факторы	Код	Уровень «0»	Интервал	Уровень «-»	Уровень «+»
Диаметр D_B , мм	x_1	250	50	200	300
Длина L_B , м	x_2	100	50	50	150
Скорость V_B , м/с V_B , m/s	x_3	1,5	0,5	1,0	2,0
Разность отметок H_r , м	x_4	4,0	2,0	2,0	6,0

Таблица 4 – Матрица планирования, обработка результатов

Расчетный номер, К	Факторы / Factors				Потери напора $\sum h_w$, м	Отрицательная энергия $\sum h_w + H_r$, м
	D_B , мм (x_1)	L_B , м (x_2)	V_B , м/с (x_3)	H_r , м (x_4)		
1	(-)0,20	(-) 50	(-) 1,0	(-) 2,0	2,10	4,10
2	(+)0,30	(-) 50	(-) 1,0	(-) 2,0	1,40	3,40
3	(-)0,20	(+) 150	(-) 1,0	(-) 2,0	6,30	8,30
4	(+)0,30	(+) 150	(-) 1,0	(-) 2,0	4,20	6,20
5	(-)0,20	(-) 50	(+) 2,0	(-) 2,0	8,40	10,40
6	(+)0,30	(-) 50	(+) 2,0	(-) 2,0	5,60	7,60
7	(-)0,20	(+) 150	(+) 2,0	(+) 6,0	25,00	31,00
8	(-)0,20	(-) 50	(-) 1,0	(+) 6,0	2,10	8,10
9	(+)0,30	(+) 150	(+) 2,0	(-) 2,0	16,8	18,8
10	(-)0,20	(-) 50	(-) 1,0	(-) 2,0	2,10	4,10
11	(-)0,20	(+) 150	(-) 1,0	(-) 2,0	6,30	8,30
12	(0) 0,25	(0) 100	(0) 1,5	(0) 4,0	7,56	11,56

Обработка результатов для уравнения:
Свободный член $B_0 = \sum \Delta_B / \sum K = 6,05$
Коэффициенты факторов:

$$B_i = \frac{\sum_{k=1}^N x_{ik} \cdot \Delta_B}{K}, \quad (1)$$

$$B_1 = (-) 85,86, B_1 = (+) 55,61, \sum B_1 = \frac{-30,25}{12} = -2,52;$$

$$B_2 = (-) 48,89, B_2 = (+) 81,24, \sum B_2 = \frac{+1,56}{12} = +0,13;$$

$$B_3 = (-) 42,50, B_3 = (+) 87,63, \sum B_3 = \frac{+15,13}{12} = +1,26;$$

$$B_4 = (-) 42,50, B_4 = (+) 39,32, \sum B_4 = \frac{-3,18}{12} = -0,26.$$

Значение свободного члена B_0 и коэффициентов B_1, B_2, B_3, B_4 при D_B, L_B, V_B, H_r позволяют получить зависимость (1) для вычисления величины отрицательной энергии Δ_B во всасывающем трубопроводе в интервалах, показанных в таблице 4.



$\mathcal{E}_B = 6,05 - 2,52 D_B - 0,13 L_B + 3,76 V_B - 0,26 H_T$, (2) уравнения (2) проведён расчёт параметров D_B , L_B , V_B , H_T и сравнение их с теоретически расчётными (табл. 5).

Для проверки возможностей использования

Таблица 5 – Сравнение полученных энергий

Данные расчетного номера, К	D_B , м	L_B , м	V_B , м/с	H_T , м	Энергии		
					$\mathcal{E}_B$, м (таблица 2)	$\mathcal{E}_B$, м (таблица 4) (по зависимости 2)	Разница, %
1	0,2	50	1,0	2,0	2,44	2,35	4,00
2	0,3	50	1,0	2,0	3,40	1,24	2,90
3	0,2	50	1,0	2,0	8,30	6,15	3,15
4	0,3	150	1,0	2,0	6,20	3,90	5,00
5	0,2	150	2,0	2,0	10,40	8,20	2,10
6	0,3	50	2,0	2,0	2,015	0,020	3,15
7	0,2	150	2,0	6,0	8,52	2,41	4,90
8	0,3	50	1,0	6,0	8,10	2,00	4,60
9	0,3	150	2,0	2,0	18,81	16,55	2,15
10	0,2	50	1,0	2,0	4,10	1,98	3,15
11	0,2	150	1,0	2,0	8,30	6,10	4,10
12	0,25	100	1,5	4,0	9,56	7,345	3,16

Анализом таблицы 5 установлена максимальная разница 5 % между теоретическими расчетами (табл. 2) и расчётом, проведённым по уравнению (2), что делает возможным вычисление отрицательной энергии для приведённых размеров D_B , L_B , V_B , H_T с возможными вариантами в пределах величин, показанных в таблице 2 с максимальной величиной -8,4 м.

При выборе насосного оборудования, в данном случае Д1250-125 (табл. 1), с максимальной высотой всасывания $H_T = 4,0$ м для величин D_B , L_B , V_B , H_T необходимо подобрать значение $\mathcal{E}_B$ в пределах -4,4 м (табл. 1 для сечения 1-1).

Для использования других типов насосного оборудования при определении величины отрицательной энергии во всасывающих трубопроводах необходимо в первую очередь провести расчет по зависимости (2) по принятым фактическим параметрам, в дальнейшем проверить полученную величину по величине H_B заводской характеристики для принятия окончательного решения по возможности использования трубопровода подачи удобрений.

Порядок вычисления полной энергии в точке ввода удобрений и параметров линии подачи:

1. По зависимости (2) определяется величина энергии во всасывающем трубопроводе $\mathcal{E}_B$. Полная энергия, с учётом напора ёмкости с удобрениями H_0 , по формуле:

$$\mathcal{E}_\Pi = \mathcal{E}_B + H_0. \quad (3)$$

2. Агрономической службой назначается расход Q_y (к примеру, $Q_y = 0,1$ м³/ч).

3. По минимальным потерям напора назначается скорость V_y (принимается по литературным рекомендациям 1-1,5 м/с, для примера 1,0 м/с).

4. Рассчитывается диаметр трубопровода D_y по зависимости:

$$D_y = Q_y / 0,185 V_y. \quad (4)$$

5. Принимается по фактическим данным хозяйства величина H_0 и вычисляется, по абсолютной величине, энергия в точке ввода удобрений ($\mathcal{E}_B + H_0$) (5).

6. По вычисленным параметрам определяется длина трубопровода

$$L_y = \frac{(\mathcal{E}_B + H_0) \cdot D_y \cdot 2g}{\lambda \cdot V_y^2}. \quad (5)$$

Пример расчёта:

1. По принятой для рассмотрения строчке таблицы 1 (к примеру, первая) принимаются:

- диаметр и длина всасывающего трубопровода $D_B = 0,2$ м, $L_B = 50$ м;
- скорость потока $V_B = 1,0$ м/с;
- разность отметок $H_T = 2,0$ м;
- величина энергии перед входом в насос по зависимости (2):

$$\mathcal{E}_B = 6,05 - 2,52 \cdot 0,2 - 0,13 \cdot 50 + 3,76 \cdot 1 - 0,26 \cdot 2,0 = 2,29 \text{ (м)}.$$

2. Полная энергия в точке ввода удобрений: $\mathcal{E}_\Pi = \mathcal{E}_B + H_0 = 2,29 + 2,0 = 4,29$ (м).

3. Диаметр трубопровода подачи удобрений $D_y = 0,1 / 0,185 \cdot 1,5 = 0,08$ (м).

4. Длина трубопровода:

$$L_y = \frac{4,29 \cdot 0,08 \cdot 19,62}{0,15 \cdot 1,0} = 44,8 \text{ (м)}.$$

По вычисленным данным и наличию характеристики используемого насосного оборудования в случае, когда допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{д}}^B$ выше или равна рассчитанному значению $\mathcal{E}_B$ (2,29 м), параметры принимаются для монтажа. При значении $\mathcal{E}_B < H_{\text{д}}^B$ размеры линии подачи следует пересчитать с учётом максимальной величины $H_{\text{д}}^B$.



Результаты исследований и их обсуждение

Выведенная зависимость для определения величины отрицательной энергии во всасывающем трубопроводе $\mathcal{E}_в = f(D_в, L_в, V_в, H_г)$ мелиоративной насосной станции позволяет в пределах основных параметров проектируемых в РФ насосных станций диаметра и длины всасывающего трубопровода $D_в$, $L_в$, скорости потока $V_в$ и разности отметок водоисточника и оси насоса $H_г$ вычислить величину отрицательной энергии возможной всасывающей способности в точке ввода удобрений.

При составлении расчёта параметров по выведенной зависимости и рекомендациям литературных источников установлено отклонение в пределах 5 %, что позволяет рекомендовать уравнение для практического использования [10,11].

По приведённой схеме ввода удобрений в трубопровод и наличию геометрического напора ёмкости с удобрениями установлена полная энергия в точке ввода $\mathcal{E}_п = \mathcal{E}_в + H_0$ (4,29 м), по которой по разработанному порядку вычисления определены диаметр и длина трубопровода $D_y = 0,08$ м, $L_y = 44,8$ м. При значении полной энергии $\mathcal{E}_п$ в точке ввода ниже допустимой вакууметрической высоты всасывания $H_д^в$ установленного насосного оборудования рекомендуется пересчитать величину $\mathcal{E}_п$ и, соответственно D_y и L_y .

Заключение

Проведённые теоретические исследования доказывают возможность энергоэффективного ввода удобрений в оросительную сеть энергией всасывающих трубопроводов мелиоративных насосных станций, позволяющую в условиях фермерских хозяйств проводить удобрительные поливы без использования дополнительных гидроагрегатов.

Выведенная зависимость для вычисления параметров всасывающего трубопровода диаметра $D_в$ и длины трубопровода $L_в$, скорости $V_в$ и разности отметок $H_г$ оси насоса и водоисточника позволяет вычислять величину максимальной отрицательной энергии $\mathcal{E}_в$ (всасывающей способности) в точке ввода удобрений.

По рассчитанной отрицательной энергии $\mathcal{E}_в$ во всасывающем трубопроводе и приведённой схеме с установленным значением геометрического напора ёмкости с удобрениями H_0 рассчитывается полная энергия $\mathcal{E}_п = \mathcal{E}_в + H_0$ в точке ввода удобрений и определяются геометрические и гидравлические параметры линии подачи удобрений в условиях хозяйства.

Список источников

1. Головкова Ю.С., Иванов А.М., Сероченкова Е.А. Подбор и расчет насосов, используемых в водоснабжении. Известия Тульского государственного университета. *Технические науки*. 2019;9:65-70.
2. Абидов К. Г. Повышение надежности работы

мелиоративных насосных станций с применением самозапуска электродвигателей. *Электрооборудование: эксплуатация и ремонт*. 2020;3:34-38.

3. Михайлова С.В., Погребная И.А. Повышение производительности центробежных насосов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. *Технические науки*. 2019;46(2):20-27. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-20-27

4. Рудаков В.А., Уржумова Ю.С., Тарасьянц С.А., Ширяев В.Н. Устройство и технологический процесс смешивания и внесения удобрений с поливной водой для подкормки сельскохозяйственных культур. *Мелиорация и гидротехника*. 2023;13(1):118-131. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-118-131.

5. Маклаков Д.В., Рудаков В.А., Уржумова Ю.С., Тарасьянц С.А. Натурные экспериментальные исследования процесса ввода животноводческих стоков во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах. *Мелиорация и гидротехника*. 2023;13(3):154-170. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-154-170.

6. Мажайский Ю.А., Голубенко М.И., Курчевский С.М., Стрелюхин А.В. Обеспечение экологической безопасности прудов-накопителей животноводческих стоков при удобрительном орошении. *Мелиорация*. 2025;1(111):45-52.

7. Мажайский Ю.А., Голубенко М.И. Обоснование конструктивно-технологических параметров устройства и внесения жидких удобрений с поливной водой. *Орошаемое земледелие*. 2025;1(48): С. 50-54. DOI: 10.35809/2618-8279-2025-1-8

8. Рудаков В.А., Мазанов Р.Р., Уржумова Ю.С., Тарасьянц С.А. Ввод удобрений в оросительную сеть энергией напорных и всасывающих трубопроводов мелиоративных насосных станций. *Орошаемое земледелие*. 2025;3(50):61-69. DOI: 10.35809/2618-8279-2025-3-9

9. Рудаков В. А., Каратунова А. А., Уржумова Ю. С., Тарасьянц С. А. Линейные и гидравлические параметры схемы использования энергии напорных трубопроводов при вводе удобрений в оросительную сеть и повышении высоты всасывания насосного оборудования мелиоративных насосных станций. *Орошаемое земледелие*. 2026,2(53),62-67. DOI 10.35809/2618-8279-2026-2-11.

10. Нафиков И.Р., Галиев И.Г., Лукманов Р.Р., Хусаинов Р.К. Исследование эжектора в составе водокольцевого вакуумного насоса. *Вестник НГИ-ЭИ*. 2022;9(136):20-29. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-9-20-29.

11. Филимонов М.И., Новиков А.Е., Голованчиков А.Б., Константинова Т.Г. Мембранная технология подготовки животноводческих стоков для их утилизации в орошаемом земледелии. *Орошаемое земледелие*. 2019;1:52-55. DOI: 10.35809/2618-8279-2019-1-15.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References

1. Golovkova Yu.S., Ivanov A.M., Serochenkova E.A. Selection and calculation of pumps used in water supply. News of the Tula state university. Technical sciences. 2019; 9:65-70. (In Russ.)



2. Abidov K. G. Improving the reliability of reclamation pumping stations by applying self-starting electric motors. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont* (Electrical Equipment: Operation and Repair). 2020;3:34-38. (In Russ.)
3. Mikhaylova S.V., Pogrebnaya I.A. Increasing centrifugal pump performance. Herald of Daghestan State Technical University. *Technical Sciences*. 2019; 46 (2):20-27. (In Russ.). DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-20-27
4. Rudakov V. A., Urzhumova Yu. S., Tarasyants S. A., Shiryayev V. N. Arrangement and technological process of mixing and fertilizing with irrigation water to crop feeding. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(1):118–131. (In Russ.). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-118-131.
5. Maklakov D. V., Rudakov V. A., Urzhumova Yu. S., Tarasyants S. A. Fullscale experimental studies of the process of introducing livestock effluents into the suction pipelines of pumping stations for fertilizing irrigation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(3):154–170. (In Russ.). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-154-170.
6. Mazhayskiy YU.A., Golubenko M.I., Kurchevskiy S.M., Streliukhin A.V. Ensuring environmental safety of livestock waste water storage ponds with fertilizer irrigation. *Melioraciâ*. 2025;1(111):45-52. (In Russ.).
7. Mazhayskiy Yu.A., Golubenko M.I. Justification of the design and technological parameters of the device and application of liquid fertilizers with irrigation water. *Irrigated agriculture*. 2025;1(48): 50-54. (In Russ.). DOI: 10.35809/2618-8279-2025-1-8
8. Rudakov V.A., Mazanov R.R., Urzhumova Y.S., Tarasyants S.A. The introduction of fertilizers into the irrigation network by the energy of pressure and suction pipelines of reclamation pumping stations. *Irrigated agriculture*. 2025;3(50):61-69. (In Russ.). DOI: 10.35809/2618-8279-2025- 3-9.
9. Rudakov V. A., Karatunova A. A., Urzhumova Yu.S., Tarasyants S. A. Linear and hydraulic parameters of the energy use scheme of pressure pipelines when introducing fertilizers into the irrigation network and increasing the suction height of pumping equipment of reclamation pumping stations. *Irrigated agriculture*. 2026, 2 (53), 62-67. (in Russ). DOI 10.35809/2618-8279-2026-2-11.
10. Nafikov I. R., Galiev I. G., Lukmanov R. R., Khusainov R. K. Investigation of the ejector as part of a water ring vacuum pump. *Bulletin NGIEI*. 2022;9(136):20-29. (in Russ). DOI: 10.24412/2227-9407-2022-9-20-29.
11. Filimonov M.I., Novikov A.E., Golovanchikov A.B., Konstantinova T.G. Membrane technology training for animal waste disposal in irrigated agriculture. *Irrigated agriculture*. 2019;1:52-55. (in Russ). DOI: 10.35809/2618-8279-2019-1-15.

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

Рудаков Владимир Александрович, канд. техн. наук, НИМИ имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Новочеркасск, Россия., vladimirrudakov880@gmail.com

Каратунова Анна Александровна, аспирант кафедры мелиорации и водного хозяйства, НИМИ имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Новочеркасск, Россия, nursha1986@yandex.ru

Ширяев Вадим Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры мелиорации и водного хозяйства, НИМИ имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Новочеркасск, Россия, vadik334@mail.ru

Дегтярева Карина Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия, karina.degtyaeva.2014@mail.ru

Author Information

Vladimir A. Rudakov, Cand.Sc. (Engineering), National Research University — branch of the Donskoy State Agrarian University, Novocherkassk, Russia vladimirrudakov880@gmail.com.

Anna A. Karatunova, Postgraduate Student of the Department of Land Reclamation and Water Management, National Research University — branch of the Donskoy State Agrarian University, Novocherkassk, Russia nursha1986@yandex.ru.

Vadim N. Karatunova, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Land Reclamation and Water Management, National Research University — branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russia vadik334@mail.ru.

Karina A. Degtyareva, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport-Technological Complexes, South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia karina.degtyaeva.2014@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 22.07.2026; одобрена после рецензирования 17.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 22.07.2026; approved after reviewing 17.08.2026; accepted for publication 16.09.2026



Вестник РГАТУ, 2026, т.18, №3, с.163-170
Vestnik RGATU, 2026, Vol.18, №3, pp. 163-170

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.347
DOI 10.36508/RSATU.2026.62.17.020

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ КОМПОНОВКИ МОТОР-РЕДУКТОРНЫХ ПРИВОДОВ
ТЕЛЕЖЕК МНОГООПОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН**

Анатолий Иванович Рязанцев¹, Евгений Юрьевич Евсеев¹✉, Георгий Константинович Рембалович¹

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

✉ evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Эффективность работы многоопорных дождевальных машин кругового действия (ДМКД) на примере типа «Кубань-ЛК1» в немалой степени зависит от типа мотор-редукторного привода ходовых тележек. В настоящее время для движения тележек в основном применяется полный привод с передачей крутящего момента от мотор-редуктора на колеса через карданные валы. Однако с увеличением длины основания рамы (от 3,0 до 6,0 м) КПД (η) такого привода снижается с 0,80 до 0,63, тогда как на стадии внедрения находится раздельный привод, который сохраняет КПД на уровне 0,80. Целью настоящей работы является научное обоснование конструктивной компоновки мотор-редукторных приводов на тележках многоопорных дождевальных машин.

Методология. Исследования включают теоретический анализ и экспериментальную оценку дождевальных машин «Кубань-ЛК1». Получена аналитическая зависимость по определению конструктивной компоновки того или иного привода по длине основания рамы тележки. Выполнено технико-экономическое сравнение двух типов привода с применением методов математического моделирования и статистической обработки результатов.

Результаты. Экспериментально подтверждено, что при длине основания рамы тележки до 3,0 м КПД полного и раздельного приводов сопоставил 0,80. При увеличении длины до 6,0 м КПД полного привода снижается до 0,63, тогда как раздельный привод сохраняет значение равное 0,80, что отражено в аналитической зависимости. Технико-экономическое обоснование показало, что для тележек с длиной основания более 3,0 м раздельный привод становится более оправданным за счёт снижения энергозатрат и повышения надёжности.

Заключение. Разработан критерий выбора типа мотор-редукторного привода при его конструктивной компоновке в зависимости от длины основания рамы тележки. Для машин с длиной основания свыше 3,0 м рекомендуется установка раздельного привода, обеспечивающего стабильно высокий КПД и снижение эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: ДМКД «Кубань-ЛК1», тележка, мотор-редукторный привод, полный привод, раздельный привод, карданный вал, КПД, энергосбережение, энергоэффективность

Для цитирования: Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю., Рембалович Г. К. Обоснование конструктивной компоновки мотор-редукторных приводов тележек многоопорных дождевальных машин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.163-170 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.62.17.020>



SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURAL LAYOUT OF GEAR MOTOR DRIVES FOR TROLLEYS OF MULTI-SUPPORT SPRINKLERS

Anatoly I. Ryazantsev¹, Evgeny Yu. Evseev¹✉, Georgy K. Rembalovich¹

¹ Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia

✉ evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. The efficiency of multi-support circular sprinklers using the example of the Kuban-LK1 type depends to a large extent on the type of gear motor drive of the running trolleys. Currently, all-wheel drive is mainly used to move trolleys with the transmission of torque from a geared motor to the wheels via cardan shafts. However, as the length of the frame base increases (from 3.0 to 6.0 m), the efficiency of such a drive decreases from 0.80 to 0.63, while at the implementation stage there is a separate drive that keeps the efficiency at 0.80. The purpose of this work is to scientifically substantiate the design layout of gear motor drives on trolleys of multi-support sprinklers.

Methodology. The research includes theoretical analysis and experimental evaluation of the Kuban-LK1 sprinkler machines. The researchers conducting the experiment have obtained analytical relationship for determining the structural layout of a particular drive along the length of the base of the trolley frame. Technical and economic comparison of the two types of drive has been performed using mathematical modeling methods and statistical processing of the results.

Results. It has been experimentally confirmed that with the length of the base of the trolley frame up to 3.0 m, the efficiency of full and separate drives was compared to 0.80. As the length increases to 6.0 m, the efficiency of the all-wheel drive decreases to 0.63, while the split drive retains a value of 0.80, which is reflected in the analytical dependence. The feasibility study showed that for trolleys with a base length of more than 3.0 m, a separate drive becomes more justified by reducing energy consumption and increasing reliability.

Conclusion. The criterion for choosing the type of gear motor drive in its structural layout depending on the length of the base of the trolley frame has been developed. It is recommended to install a separate drive that ensures consistently high efficiency and reduced operating costs for machines with a base length of more than 3.0 m.

Key words: circular sprinkler machine "Kuban-LK1", trolley, gear motor, four-wheel drive, split drive, efficiency, driveshaft, energy saving, energy efficiency

For citation: Ryazantsev A. I., Evseev E. Yu., Rembalovich G. K. Substantiation of the structural layout of gear motor drives for trolleys of multi-support sprinklers // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P.163-170 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.62.17.020>

Введение

Многоопорные дождевальные машины кругового действия являются на сегодняшний день одним из наиболее производительных средств орошения в крупных сельскохозяйственных предприятиях. Их способность равномерно распределять воду по площади круга при относительно низких удельных затратах труда обусловила широкое распространение этих машин в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения. Наиболее известной и распространенной в Российской Федерации является машина «Кубань-ЛК1», которая зарекомендовала себя как надежное и эффективное средство орошения. Однако, как показывает практика эксплуатации, производительность, энергоемкость и равномерность полива этой машины зависят от технического состояния и конструктивных особенностей ее ходовых тележек. Общий вид дождевальной машины на поле представлен на рисунке 1 [2, 9].

Создание многоопорной дождевальной машины включает в себя ряд технических решений, среди которых важнейшим является выбор типа привода ходовых тележек. Известно решение, основанное на использовании гидравлических приводов, реализованное в дождевальных машинах

типа «Фрегат» и «Волжанка». Гидравлические приводы имеют существенные недостатки, к которым относятся: сложность конструкции, необходимость поддержания высокого давления в гидросистеме, повышенные требования к чистоте рабочей жидкости и, как следствие, низкая надежность в реальных полевых условиях. Второй подход, получивший распространение с развитием электрификации сельского хозяйства, заключается в применении электрических мотор-редукторных приводов. Именно этот подход в настоящее время считается наиболее перспективным, поскольку электроприводы обладают высокой надежностью и простотой управления [1, 7].

В конструкциях электрических мотор-редукторных приводов возможны два варианта компоновки. Один из них — полный привод, где центральный мотор-редуктор через карданные передачи вращает сразу оба пневмоколеса тележки. Такое решение привлекает невысокой стоимостью. Однако, согласно результатам исследований (табл.1), недостаток данной схемы заключается в снижении коэффициента полезного действия полного мотор-редукторного привода: с 0,80 до 0,63. Указанный недостаток уменьшает величину мощности, одновременно передаваемой через



карданные механизмы на пневматические колеса тележки. Физическая причина данного явления обусловлена явлением кручения левого и правого карданных валов при их суммарной протяженности L , составляющей от 3 до 6 м, что идентично длине основания несущей рамы тележки. Альтернативная схема с отдельным приводом, предусматривающая монтаж мотор-редуктора на каждом колесе, характеризуется повышенной начальной стоимостью. Тем не менее, согласно экспериментальным данным, в определенных конструктивных исполнениях тележки такая компоновка демонстрирует более высокую эффективность, что обуславливает научно-практическую значимость настоящего исследования [6, 14].

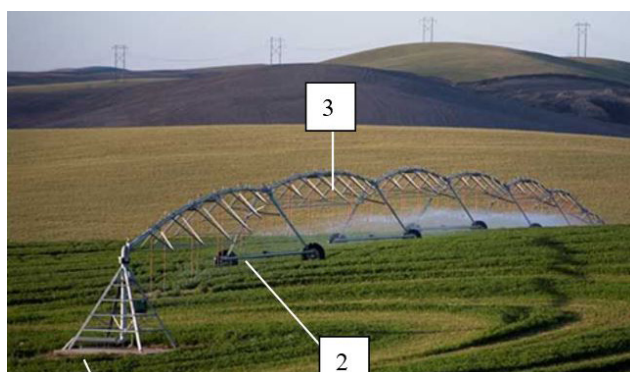


Рис. 1 – Многоопорная дождевальная машина кругового действия в работе
1 – fixed support; 2 – running trolley;
3 – central water supply

Fig. 1 – Multi-support circular sprinkler machine in operation

Материалы и методы исследования

Существенное снижение КПД полного привода при увеличении длины рамы тележки заключается в конструктивных особенностях карданной передачи. Карданные валы, применяемые в указанном приводе, содержат крестовины и шарнирные соединения, которые при передаче крутящего момента создают потери на трение. Эти потери имеют две составляющие. Первая составляющая – постоянные потери, не зависящие от длины вала и определяемые конструкцией шарниров. Вторая составляющая – переменные потери, которые растут с увеличением длины вала, поскольку более длинный вал обладает большей податливостью на кручение. При передаче крутящего момента длинный карданный вал закручивается на больший угол, что приводит к дополнительным потерям энергии, связанным с внутренним трением в материале вала и с циклическими деформациями шарниров. Кроме того, с ростом длины вала возрастает его масса, и, следовательно, потери на инерционное сопротивление [10, 12].

Важно отметить, что проблема снижения КПД полного привода не является единственной. Помимо чисто энергетических потерь, скручивание длинных карданных валов приводит к несинхронности вращения правого и левого колес. Даже при

жесткой кинематической связи через мотор-редуктор из-за упругих деформаций валов возникает разница в углах поворота колес, что особенно заметно при трогании с места и при движении по неровному рельефу. Это вызывает дополнительное буксование и увеличивает сопротивление качению, что, в свою очередь, повышает энергопотребление, ускоряет износ шин и трансмиссии. Раздельный привод практически полностью лишен этих недостатков, поскольку каждый мотор-редуктор жестко связан со своим колесом, а длина механической передачи практически равна нулю [3, 5].

Объектом исследования выбрана многоопорная дождевальная машина кругового действия типа «Кубань-ЛК1». Исследования проводились на двух типах мотор-редукторных приводов ходовых тележек. Первый вариант исполнения (серийный) соответствует полному приводу. В его состав входит один цилиндрический мотор-редуктор, смонтированный на раме тележки, а также два карданных вала — справа и слева. Через них крутящий момент от мотор-редуктора подводится к ступицам пневмоколес, проходя через червячные колесные редукторы (рис.2). Второй вариант (экспериментальный) представляет собой раздельный привод, который образован двумя идентичными мотор-редукторами с энергоэффективным зубчатым зацеплением. При этом каждый из редукторов жестко прикреплен к ступице и приводит во вращение только одно пневмоколесо (рис. 3) [4, 13, 15].

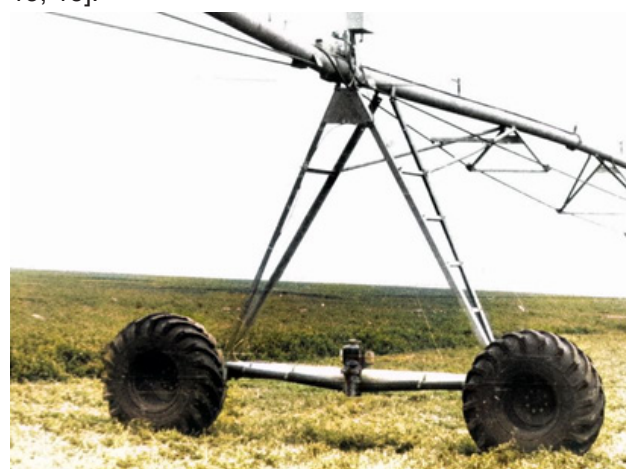


Рис. 2 – Общий вид полного (серийного) мотор-редукторного привода тележки ДМ
1 – frame; 2 – base; 3 – pneumatic wheels;
4 – gear motor

Fig. 2 – General view of the complete (serial) gear motor drive of the sprinkler truck

Ключевым варьируемым параметром в ходе исследования раздельного привода являлась длина основания рамы тележки L . Данный параметр представляет собой расстояние между осями правого и левого пневмоколес и, в случае полного привода, равен длине каждого из карданных валов. Исследуемый диапазон изменения составил от 1,0 до 6,0 метров с дискретностью 1,0 метр [8].



Методика экспериментального определения КПД включала следующие этапы. На стенде имитировались условия движения тележки по твёрдому горизонтальному основанию с коэффициентом сопротивления качению $f=0,12$ (соответствует плотной почве после дождя). На валах колёс устанавливались тензометрические датчики крутящего момента (тип ТМ-2, погрешность $\pm 0,5\%$), а на мотор-редукторах – датчики потребляемой электрической мощности (цифровой ваттметр с погрешностью $\pm 0,2\%$).

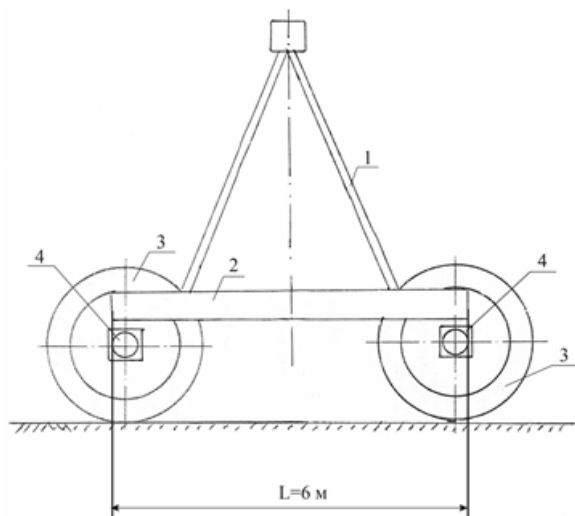


1 – мотор-редуктор; 2 – пневматические шины;
3 – раздельный мотор-редуктор

Рис. 3 – Общий вид раздельного (экспериментального) мотор-редукторного привода дождевальной машины

1 – gear motor; 2 – pneumatic tires;
3 – separate gear motor

Fig. 3 – General view of the separate (experimental) gear motor drive of the sprinkler machine



1 – рама; 2 – основание; 3 – пневмоколеса;
4 – мотор-редукторный привод

Рис. 4 – Схема тележки дождевальной машины с полным мотор-редукторным приводом

1 – frame; 2 – base; 3 – pneumatic wheels; 4 – gear motor

Fig. 4 – Diagram of a sprinkler truck with a full geared moto

Для каждого значения L проводилось по 5 повторных замеров при установленном режиме движения (скорость $0,3$ м/с). КПД η определялся как отношение полезной механической мощности на колёсах к потребляемой электрической мощности:

$$\eta = \frac{M_k \cdot \omega_k}{P_{эл}}, \quad (1)$$

где M_k – суммарный крутящий момент на ведущих колёсах (Н·м),

ω_k – угловая скорость колёс (рад/с),

$P_{эл}$ – активная электрическая мощность (Вт).

Обработка результатов выполнена методами математической статистики с вычислением средних арифметических значений и доверительных интервалов при уровне значимости $\alpha=0,05$.

Теоретическая модель для полного привода строилась на основе баланса потерь в карданной передаче. Суммарные потери мощности ΔP складываются из постоянных потерь в шарнирах ΔP_0 и потерь, пропорциональных длине вала:

$$\Delta P(L) = \Delta P_0 + k \cdot L, \quad (2)$$

где k – эмпирический коэффициент, учитывающий увеличение потерь на трение и упругое скручивание с ростом длины вала. Тогда КПД полного привода:

$$\eta_{полн}(L) = \eta_0 - \frac{k \cdot L}{P_{ном}}, \quad (3)$$

где $\eta_0=0,80$ – КПД при малых длинах ($L \leq 3,0$ м), $P_{ном}$ – номинальная мощность мотор-редуктора (1,1 кВт).

По экспериментальным точкам методом наименьших квадратов получено $k=0,055$ кВт/м, что даёт для диапазона $L \in [3,0; 6,0]$ м:

$$\eta_{полн}(L) = 0,80 - 0,05 \cdot (L - 3,0) \quad (4)$$

Для раздельного привода потери практически не зависят от L , поэтому $\eta_{разд} = 0,80$ во всём диапазоне.

Критерием выбора служит сравнение приведённых затрат:

$$Z = \frac{C_{кап}}{T_{ок}} + C_{экс} \quad (5)$$

где $C_{кап}$ – капитальные затраты (стоимость привода),

$T_{ок}$ – срок окупаемости,

$C_{экс}$ – годовые эксплуатационные расходы, включая электроэнергию и техническое обслуживание. Энергозатраты рассчитывались с учётом КПД привода и дорожно-климатических условий (коэффициент сопротивления качению f и уклон i).

Результаты исследований и их обсуждение

Экспериментально установлено (табл.), что для многоопорной дождевальной машины кругового действия условием исключения снижения коэффициента полезного действия штатного (серийного) мотор-редукторного привода тележек является применение раздельной (экспериментальной) схемы компоновки привода. Данное техническое решение реализуется посредством установки на каждое пневматическое колесо индивидуального мотор-редуктора. При этом интервал



между соседними мотор-редукторами определяется длиной L базовой рамы тележки и составляет 3,0-6,0 м. Численное значение указанной длины зависит от величины снижения КПД (η) штатного

привода в рабочем диапазоне и вычисляется по эмпирической зависимости $L=(0,97-\eta)/0,05$ (патент РФ на изобретение №2855457).

Таблица – Коэффициент полезного действия мотор-редукторных приводов тележек дождевальной машины

Тип мотор-редукторного привода тележки дождевальной машины	КПД мотор-редукторных приводов (η): полного, при общей длине L правого и левого карданов и раздельного, при длине L основания рамы тележки						Цена мотор-редукторного привода, тыс. руб. Диапазон длин L , м основания рамы тележки по применимости мотор-редукторных приводов (полного и раздельного)	Цена мотор-редукторного привода, тыс. руб. Диапазон длин L , м основания рамы тележки по применимости мотор-редукторных приводов (полного и раздельного)
	< 1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0		
Полный	0,80	0,80	0,80	0,72	0,675	0,63	40,0	< 3,0
Раздельный	-	-	-	0,80	0,80	0,80	80,0	3,0-6,0

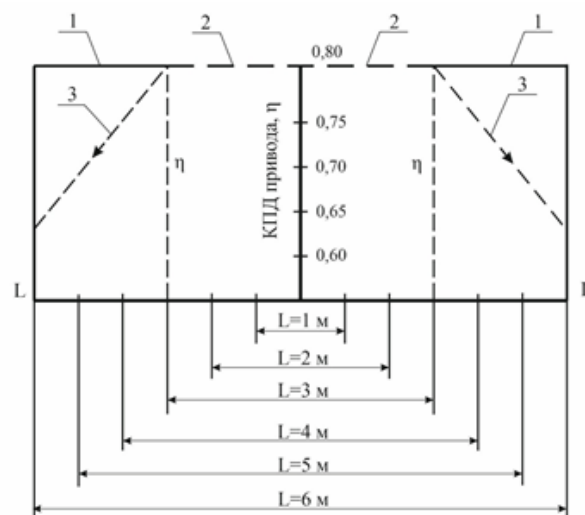
При длине основания рамы тележки от 2,0 до 3,0 метров КПД сохраняется на уровне 0,80. Однако при длине рамы от 3,0 до 4,0 метров КПД полного привода снижается до 0,72, а при длине от 4,0 до 5,0 метров – 0,675. При длине от 5,0 до 6,0 метров КПД полного привода составляет лишь 0,63. Что касается раздельного привода, то его КПД не определялся при длине рамы менее 3,0 метров (этот диапазон не является целевым для его применения), а при длине рамы от 3,0 до 6,0 метров КПД раздельного привода остается равным 0,80, как и для полного привода при $L < 3,0$ м.

Результаты исследований наглядно показывают различие по изменению КПД двух типов привода по мере увеличения длины основания рамы тележки. Для полного привода характерна зона стабильно высокого КПД при длине рамы тележки до 3,0 метров, после чего начинается его снижение (рис. 5) [11].

На рисунке 5 по оси абсцисс отложено значение длин основания рамы в метрах, по оси ординат – коэффициенты полезного действия η . Зависимость от L КПД полного привода представляет собой горизонтальную линию при значении $\eta=0,80$ в интервале от 0 до 3,0 метров, затем происходит его снижение, проходящее через точки со значениями 0,72 при $L=3,5$ м, 0,675 при $L=4,5$ м и достигающее $\eta=0,63$ при $L=5,5-6,0$ м. Зависимость от L КПД раздельного привода представляет собой горизонтальную линию $\eta=0,80$ во всем интервале длин от 3,0 до 6,0 метров. Пересечение применяемых зависимостей в точке $L=3,0$ метра указывает на то, что эта длина является критической, разделяющей зону предпочтительного применения полного и раздельного приводов.

В ходе исследований осуществлялась проверка полученной зависимости КПД работы дождевальной машины полного привода в интервале длин оснований рамы от 3,0 до 6,0 метров. Как показывает проверка, данная формула дает сле-

дующие значения: при $L=4,0$ м $\eta=0,772$; при $L=6,0$ м – $\eta=0,716$. Некоторое расхождение с табличными данными объясняется нелинейностью процесса при увеличенных деформациях карданов. Для инженерных расчетов и их анализа допустимо использовать дискретный диапазон изменения длин от 3,0 до 6,0 метров, как зону целесообразного применения раздельного привода.



L – длина рамы тележки; η – коэффициент полезного действия; 1 – КПД раздельного привода; 2 и 3 – КПД полного привода

Рис. 5 – График зависимости К.П.Д. привода тележки от длины основания рамы

L – the length of the trolley frame; η – the efficiency; 1 – the efficiency of the split drive;

2 and 3 – the efficiency of the all-wheel drive

Fig. 5 – Graph of the dependence of the efficiency of the trolley on the length of the frame base

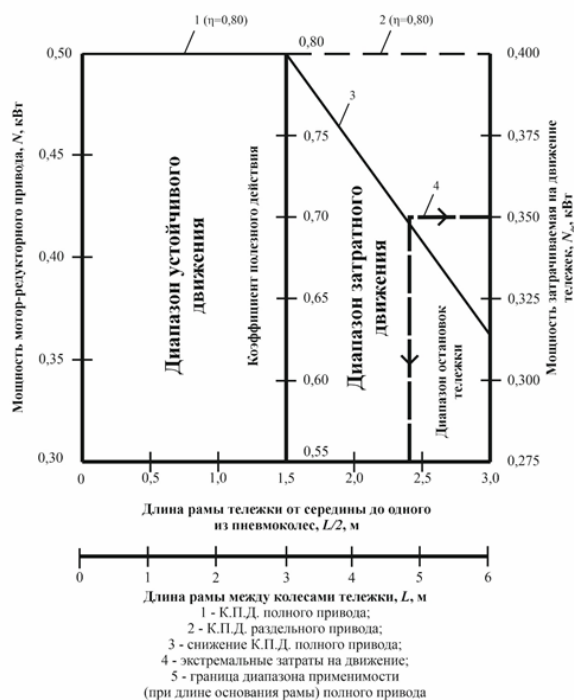


Рис. 6 – Графическая зависимость энергозатрат при различной компоновке мотор-редукторного привода дождевальной машины
Fig. 6 – Graphical dependence of energy consumption with different arrangement of the gear motor drive of the sprinkler machine

Если длина основания рамы тележки (расстояние между пневмоколесами) составляет менее 3,0 метров, целесообразно использовать полный мотор-редукторный привод, поскольку он обеспечивает такой же КПД (0,80), что и отдельный, но при этом имеет существенно более низкую стоимость. Если же длина основания рамы находится в диапазоне от 3,0 до 6,0 метров, полный привод теряет свою эффективность, и предпочтение отдается отдельному приводу, который, несмотря на более высокую цену, обеспечивает стабильный КПД $\eta=0,80$ и исключает энергетические потери, связанные со скручиванием карданных валов.

При этом, как видно из графика (рис. 6), при эксплуатации дождевальной машины в сложных почвенно-рельефных условиях (коэффициент сопротивления качению $f=0,3$ и более, преодолеваемый уклон по ходу движения i более 0,07) полный привод, исходя из пониженного КПД (до 0,63) и энергетических затрат на передвижение, практически неработоспособен при длине основания рамы тележки ближе к 6,0 м. То есть подводимая мощность к ходовой системе тележки составляет 0,315 кВт (линия 3), а необходимая для обеспечения ее движения – 0,350 кВт (линия 4).

Технико-экономическое сравнение показало, что для $L < 3,0$ м полный привод дешевле (40 тыс. руб.) и имеет одинаковый с отдельным КПД (0,80), поэтому его применение экономически оправдано. Для $L \geq 3,0$ м отдельный привод (80 тыс. руб.) окупается за счёт снижения энерго-

потребления: годовая экономия электроэнергии при $L=6,0$ м составляет около 1200 кВт·ч, что при тарифе 5 руб./кВт·ч даёт 6000 руб./год. С учётом более высокой надёжности (отсутствие карданных валов, требующих обслуживания) срок окупаемости дополнительных капиталовложений не превышает 3-4 лет, что приемлемо для сельскохозяйственного производства.

Заключение

В ходе проведенных теоретических исследований, были получены следующие результаты.

При увеличении длины основания рамы тележки свыше 3,0 метров коэффициент полезного действия полного мотор-редукторного привода, оснащенного карданными валами, начинает снижаться. При их длине, равной длине основания рамы, равной 6,0 метрам, КПД уменьшается до 0,63 из-за потерь на трение в карданных шарнирах, а также из-за потерь, связанных с упругим скручиванием валов.

В случае привода с отдельными мотор-редукторами, установленными на каждом колесе тележки, коэффициент полезного действия сохраняет неизменное значение, равное 0,80, при любой длине основания рамы тележки, в том числе в интервале от 3,0 до 6,0 метров. Для тележек с длиной рамы $L < 3,0$ м рекомендуется устанавливать полный привод, как более экономичный, при КПД $\eta=0,80$. Для тележек с длиной основания рамы от 3,0 до 6,0 метров целесообразно применять отдельный привод, исключая снижение КПД и, как следствие, устойчивость движения тележек, особенно при L , близкой к 6,0 м.

Список источников

1. Андреева Е. В. Повышение тягово-сцепных свойств ходовых систем широкозахватных дождевальных машин кругового действия "Фрегат". Инженерно-техническое обеспечение АПК. *Реферативный журнал*. 2010;4:1056.
2. Евсеев Е. Ю. Повышение эффективности применения многофункциональной машины на склоновых площадях. *Нива Поволжья*. 2023;2(66). DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005.
3. Журавлева Л. А. Снижение воздействия ходовых систем дождевальных машин на почву. *Аграрный научный журнал*. 2020;5:82-87. DOI 10.28983/asj.y2020i5pp82-87.
4. Журавлева Л. А., Нгуен В. Т. Совершенствование конструктивных параметров широкозахватных дождевальных машин кругового действия. *Аграрный научный журнал*. 2021;8:90-94. DOI 10.28983/asj.y2021i8pp90-94.
5. Кравченко В. А., Кравченко Л. В. Результаты испытаний основных сельскохозяйственных агрегатов с упругодемпфирующим механизмом в силовой передаче мобильного энергетического средства класса 1,4. *Вестник аграрной науки Дона*. 2022;15(3(59)):15-25.
6. Рязанцев А. И. и др. Обоснование параметров по совершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов машины "Кубань"



ЛК1". *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2020;4(48):107-113. DOI 10.36508/RSATU.2020.48.4.015.

7. Рыжко Н. Ф. и др. Обоснование расхода воды и схемы полива дефлекторных насадок на ДМ "Бамбук". *Орошаемое земледелие*. 2020;2:55-58. DOI 10.35809/2618-8279-2020-2-12.

8. Соловьев Д. А. и др. Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины "Каскад 65Т". *Природообустройство*. 2023;1:28-32. DOI 10.26897/1997-6011-2023-1-28-32.

9. Рязанцев А. И. и др. Повышение опорных свойств многоопорной машины "Кубань-ЛК1". *Наука в центральной России*. 2022;6(60):35-41. DOI 10.35887/2305-2538-2022-6-35-41.

10. Соловьев Д. А. и др. Результаты исследований технических и качественных показателей полива дождевальной машины "Волга-ФК1". *Аграрный научный журнал*. 2022;6:107-111. DOI 10.28983/asj.y2022i6pp107-111.

11. Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю., Антипов А. О. Особенности работы дождевальной машины «Кубань - ЛК1» на склоновых площадях. *Экология и строительство*. 2021;3:22-29. DOI 10.35688/2413-8452-2021-03-002.

12. Рыжко Н. Ф. и др. Современные низконапорные многоопорные дождевальные машины, применяемые на оросительных системах, и направления их совершенствования. *Орошаемое земледелие*. 2020;2:46-49. DOI 10.35809/2618-8279-2020-2-10.

13. Евсеев Е. Ю. и др. Технические решения по повышению производительности многофункциональной машины кругового действия на склоновых участках. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2023;15(2):119-124. DOI 10.36508/RSATU.2023.72.87.016.

14. Ryazantsev A. et al. Reducing Energy Costs in Sprinkler Machine Operation. *Innovations in Sustainable Agricultural Systems, Agriculture 4.0 and Precision Agriculture*. Volume 1 : Conference Proceedings, Stavropol, Russia Samarkand, Uzbekistan, 05–06 марта 2025 года. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2026. P. 59-68. DOI 10.1007/978-3-031-94098-9_5.

15. Ryazantsev A. I. et al. Technological Features of Irrigation and Assessment Indicators of Multibasic Irrigation Machines Running Systems Efficiency (on the Example of IM Kuban-LK1). *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019;(8(8)):S3. P. 404-406.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Andreeva E. V. Povyshenie tyagovo-stsepynykh svoystv khodovykh sistem shirokozhvatnykh dozheval'nykh mashin krugovogo dejstviya "Fregat" (Improving traction properties of running systems of wide-range circular sprinkler machines "Frigate"). *Inzhenerno-tekhicheskoe obespechenie APK (Engineering and technical support of the agro-industrial complex)*. 2010;4:1056. (in Russ.).
2. Evseev E. Yu. Increasing the efficiency of the use of a multifunctional machine on sloping surfaces. *Niva Povolzhya*. 2023;2(66). (in Russ.). DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005.
3. Zhuravleva L. A. Reduction the impact of running system of sprinkling machine on the soil. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;5:82-87. (in Russ.). DOI 10.28983/asj.y2020i5pp82-87.
4. Zhuravleva L. A., Nguyen V. T. The design parameters improvement of wide-grip sprinkler machines of circular action. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;8:90-94. (in Russ.). DOI 10.28983/asj.y2021i8pp90-94.
5. Kravchenko V.A., Kravchenko L.V. Test results of the main agricultural aggregates with an elastic-damping mechanism in the power transmission of the mobile power tool of traction class 1,4. *Vestnik agrarnoy nauki Dona (Bulletin of Agrarian Science of the Don)*. 2022;15(3(59)):15-25. (in Russ.).
6. Ryazantsev A. I. et al. Justification of parameters for improving the flow regulator of sprinklers of the Kuban - LK1 machine. *Ryazan Agrotech University Bulletin*. 2020;4(48):107-113. (in Russ.). DOI 10.36508/RSATU.2020.48.4.015.
7. Ryzhko N. F. et al. Justification of water consumption and the scheme of irrigation of deflector nozzles on DM "Bamboo". *Irrigated agriculture (Oroshaemoe zemledelie)*. 2020;2:55-58. (in Russ.). DOI 10.35809/2618-8279-2020-2-12.
8. Solovyev D. A. et al. Organization of the irrigation site for the effective operation of the "Cascade 65T" sprinkler machine. *Prirodoobustrojstvo (Environmental Engineering)*. 2023;1:28-32. (in Russ.). DOI 10.26897/1997-6011-2023-1-28-32.
9. Ryazantsev A. I. et al. Improving the supporting properties of the kuban-lk1 multi-support machine. *Science in the central Russia*. 2022;6(60):35-41. (in Russ.). DOI 10.35887/2305-2538-2022-6-35-41.
10. Solovyev D. A. et al. Research results of technical and qualitative indicators of irrigation sprinkler machine "VOLGA-FK1". *The Agrarian Scientific Journal*. 2022;6:107-111. (in Russ.). DOI 10.28983/asj.y2022i6pp107-111.
11. Ryazancev A.I., Evseev E.Yu, Antipov A.O. The operation features of the center-pivot sprinkler machine "kuban-lk1" on sloping lands. *Ekologiya i Stroitelstvo*. 2021;3:22-29. (in Russ.). DOI 10.35688/2413-8452-2021-03-002.
12. Ryzhko N. F. et al. Modern low-pressure multi-suppot spinkling machines applide on irrigation sysems and their improvement directions. *Irrigated agriculture (Oroshaemoe zemledelie)*. 2020;2:46-49. (in Russ.).



DOI 10.35809/2618-8279-2020-2-10.

13. Evseev E. Yu., Riazantsev A. I., Rembalovich G.K. Technical solutions to improve the performance of a multifunctional circular machine on sloping areas. *Ryazan Agrotech University Bulletin*. 2023;15(2):119-124. (in Russ.). DOI 10.36508/RSATU.2023.72.87.016.

14. Ryazantsev A. et al. Reducing Energy Costs in Sprinkler Machine Operation. *Innovations in Sustainable Agricultural Systems, Agriculture 4.0 and Precision Agriculture. Volume 1 : Conference Proceedings*, Stavropol, Russia Samarkand, Uzbekistan, 05–06 марта 2025 года. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2026. P. 59-68. DOI 10.1007/978-3-031-94098-9_5.

15. Ryazantsev A. I. et al. Technological Features of Irrigation and Assessment Indicators of Multibasic Irrigation Machines Running Systems Efficiency (on the Example of IM Kuban-LK1). *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019;(8(8)):S3. P. 404-406.

Author Contributions:

All authors contributed equally to the publication.

The authors declare no conflicts 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, г. Рязань, Россия, 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, г. Рязань, Россия, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Рембалович 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, г. Рязань, Россия, rgk.rgatu@yandex.ru

Author information

Anatoly I. Ryazantsev, D.Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Materials Technology and Technical Systems in Agriculture, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia ryazantsev.41@mail.ru

Evgeny Yu. Evseev, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Materials Technology and Technical Systems in Agriculture, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Georgy K. Rembalovich, D.Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department of Materials Technology and Technical Systems in Agriculture, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia rgk.rgatu@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 4.06.2026; одобрена после рецензирования 10.09.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 4.06.2026; approved after reviewing 10.09.2026; accepted for publication 16.09.2026.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.53.04:631.331:633.1
DOI: 10.36508/RSATU.2026.42.54.021

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР
И ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ПОСЕВНАЯ ТЕХНИКА

Игорь Александрович Трешкин^{1, 2} ✉, Вячеслав Викторович Голубев¹, Антон Сергеевич Фирсов¹

¹ ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия

² ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», г. Москва, Россия

✉ infotia@inbox.ru

Аннотация

Проблема и цель. Существующие способы посева имеют определенные достоинства, но и не лишены недостатков. Основной целью наших исследований было изучить литературные источники и проанализировать новые высокотехнологичные решения по способам посева зерновых культур и применяемым сеялкам с учетом специфики Нечерноземной полосы России.

Методология. Анализ применяемых способов посева зерновых культур и используемой сельскохозяйственной техники проводился на основе опубликованных результатов научных исследований, находящихся в открытой печати, сети Интернет, электронных научных библиотеках.

Результаты. В статье проведен анализ литературных источников о преимуществах и недостатках существующих способов посева и используемых высевальных машин. Изучены инновационные модели гребнистой технологии посева как наиболее перспективной для агроклиматических условий Нечерноземной полосы России. Особое внимание уделено наработкам Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина (УлГАУ) и Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (ВНИИМЗ). Рассмотренные в статье гребневые сеялки, разработанные российскими научными центрами, минимизируют затраты, формируют гребень оптимальной высоты и плотности. Конструктивные особенности сеялок позволяют создавать оптимальные агротехнические условия, улучшать водно-воздушный режим почвы. Гребнистая технология повышает устойчивость посевов к неблагоприятным условиям в зимний период, а также увеличивает количество семян в колосе и продуктивность возделываемых культур. Анализ литературных источников выявил проблему отсутствия современных сеялок для посева гребнистым способом российского производства. Отечественные предприятия сняли с производства устаревшие модели, но не перезапустили в тираж современные аналоги.

Заключение. Для гребнистого ленточно-разбросного способа посева зерновых культур в гумидной зоне рекомендуется гребне-катковая сеялка СЗГК-3,6.

Ключевые слова: гребнистый посев, сеялка, сошник, каток, влажность почвы, температура почвы, зерновые культуры, урожайность

Для цитирования: Трешкин И. А., Голубев В. В., Фирсов А. С. Инновационные технологии посева зерновых культур и используемая посевная техника // Вестник Рязанского государственного агро-технологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т. 18, №3, С.171-178 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.42.54.021>

Original article

INNOVATIVE GRAIN SOWING TECHNOLOGIES AND THE SEEDING EQUIPMENT USED

Igor A. Treshkin^{1,2} ✉, Vyacheslav V. Golubev¹, Anton S. Firsov¹

¹ Tver State Agricultural Academy, Tver, Russia

² Federal Research Center "V.V. Dokuchaev Soil Institute", Moscow, Russia

✉ infotia@inbox.ru

Abstract.

Problem and purpose. Existing seeding methods have certain advantages, but they are also not without their



drawbacks. The main goal of our research was to examine the literature and analyze new high-tech solutions for grain seeding methods and seeders, taking into account the specific characteristics of Russia's Non-Black Earth Region.

Methodology. The analysis of the methods used for sowing grain crops and the agricultural machinery used was carried out on the basis of published results of scientific research available in the open press, the Internet, and electronic scientific libraries.

Results. This article analyzes literature on the advantages and disadvantages of existing seeding methods and seeding machines. Innovative ridge seeding models are examined as the most promising for the agroclimatic conditions of Russia's Non-Black Earth Belt. Particular attention is paid to the developments of the Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (UISAU) and the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (VNIIMZ). The ridge seeders discussed in the article, developed by Russian research centers, minimize costs and form ridges of optimal height and density. Their design features create optimal agronomic conditions and improve soil moisture and air balance. Ridge seeding increases crop resilience to adverse winter conditions, as well as increases the number of seeds per ear and the productivity of cultivated crops. A review of literary sources revealed a lack of modern Russian-made seeders for ridge seeding. Domestic companies have discontinued outdated models but have not reintroduced modern equivalents.

Conclusion. The SZGK-3.6 raised-bed seeder is recommended for ridge-based, band-broadcast seeding of grain crops in humid zones.

Key words: ridge sowing, seeder, coulter, roller, soil moisture, soil temperature, grain crops, yield

For citation: Treshkin I. A., Golubev V. V., Firsov A. S. Innovative grain sowing technologies and the seeding equipment used // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P171-178 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.42.54.021>

Введение

Потребность в продовольствии с каждым годом возрастает. Обеспечение населения продуктами питания определяется не только объемами выращенных сельскохозяйственных культур, но и повышением качества получаемой продукции. Для решения обозначенных проблем необходимо выработать пути модернизации аграрного производства. Прорывные технологии в рамках «точного земледелия» предусматривают как новые системы обработки почвы, так и инновационные способы посева сельскохозяйственных культур [1].

Производительность сельскохозяйственных предприятий во многом зависит от используемых технологий возделывания сельскохозяйственных культур и их обеспеченности инженерно-технической базой. Большая часть техники морально и физически устарела. Ее количество имеет тенденцию к сокращению, что в свою очередь отрицательно влияет на эффективность производства. Обновление машинно-тракторного парка требует взвешенного и прагматичного подхода для учета как всех агротехнологических требований, так и современных тенденций развития агроинженерной науки.

Результаты научных исследований, апробированных в передовых хозяйствах, подтверждают, что сельскохозяйственные культуры имеют значительный потенциал повышения урожайности при обеспечении их подходящими условиями. Чтобы раскрыть его, важно не только совершенствовать агротехнологии, но и внедрять инновационную технику, отвечающую самым высоким стандартам современной агроинженерии. Ее современные направления принимают во внимание не только принцип замены человеческого труда машинами (снижение трудоёмкости технологических процессов), но и технологический вектор сбережения ресурсов и повышения качественной составляющей сельскохозяйственного производства: плодородия, урожайности и т.д. [1].

Основными культурами, возделываемыми в промышленных масштабах в России, являются

зерновые и зернобобовые. Их доля в структуре посевов составляет свыше 40 %. Их урожайность в первую очередь зависит от способа и оптимальных сроков посева. Способом посева регулируется форма площади питания растений – от прямоугольной до квадратной – тем самым изменяя объемы получаемых элементов питания. Немаловажным инструментом являются и сельскохозяйственные машины, коренным образом меняющие традиционные технологии за счет нового технического и технологического уровня [2].

Основная цель исследований – изучить литературные источники и проанализировать новые высокотехнологические решения по способам посева зерновых культур и применяемым сеялкам с учетом специфики Нечерноземной полосы России.

Материалы и методы исследования

Анализ применяемых способов посева зерновых культур и используемой сельскохозяйственной техники проводился на основе опубликованных результатов научных исследований, находящихся в открытой печати, сети Интернет, электронных научных библиотеках Cyberleninka, e-Library, ZNANIUM, ScienceDirect. В процессе подготовки проводился целенаправленный поиск публикаций за последние 5-7 лет с применением набора соответствующих ключевых слов. Все отобранные научные работы подверглись всестороннему изучению с оценкой по ряду значимых аспектов.

В основном в научных трудах разбираются инновационные модели гребнистой технологии посева как наиболее перспективной для агроклиматических условий Нечерноземной полосы России. В обзоре особое внимание уделено наработкам Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина (УлГАУ) и Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (ВНИИМЗ).

Кроме того, анализ литературных источников выявил проблему отсутствия современных сеялок для посева гребнистым способом российского производства. Отечественные предприятия сняли



с производства устаревшие модели, но не переизпустили в тираж современные аналоги.

Результаты исследований и их обсуждение

Для Нечерноземной полосы России традиционным способом посева зернобобовых культур является рядовой с двухдисковыми сошниками и междурядьем 15 см. Он позволяет растениям наращивать мощную корневую систему, лучше кустииться и развиваться, полноценно использовать солнечный свет, почвенную влагу и элементы питания. Также рядовой способ дает возможность получения оптимальных урожаев возделываемых культур [3]. Достоинство данных сошников – устойчивость и способность работать на почвах с плохо заделанными растительными остатками и недостаточно разделанных во время обработки. Помимо всех их преимуществ присутствуют и недостатки. Из-за конструктивных особенностей они не могут создавать плотное семенное ложе, что приводит к неравномерности площади питания растений и глубины заделки семян. Последняя может быть излишней в процессе сева в неосевшую почву. Затрудняется сев во влажную почву. Для озимых культур сюда можно с уверенностью добавить неблагоприятные факторы перезимовки. Растения наиболее часто страдают от изменяющегося водно-воздушного режима почвы, выпревания и вымокания при застое воды, образования ледяной корки при оттепелях.

Указанных недостатков лишен гребнистый способ посева (Митрофанов Ю.И. и др., 2018). Он также позволяет предотвратить образование корневых гнилей, паразитирующих при заболачивании почвы [3]. Первые упоминания гребнистого способа посева приходят из Мексики, среднеазиатских ближневосточных стран с засушливым и полусухим климатом и орошаемым земледелием. Именно там зародилась идея посева зерновых культур в гребни.

На сегодняшнем этапе развития науки данный способ посева согласуется с технологией «точного земледелия». Он позволяет оптимизировать климатические факторы, в том числе рациональное водопользование как в засушливых районах, так и в гумидной зоне. Гребнистый посев пшеницы и кукурузы в засушливых регионах позволяет экономить воду за счет полива по бороздам [1]. А при излишнем переувлажнении – осушать корнеобитаемый слой.

Гребнистая поверхность поля имеет ряд дополнительных преимуществ. Минимальной температурой почвы для посева считается 8-10° С. И чем быстрее произойдет прогрев корнеобитаемого слоя, тем раньше выйдет посевная техника в поле и тем дольше будет вегетационный период. Среди факторов, влияющих на скорость прогрева, можно отметить: площадь прогреваемой поверхности, количество растительных остатков в верхнем пахотном горизонте, плотность самой почвы. Именно эти критерии стали основой концепции гребнеобразования. Равномерное перемешивание органической и минеральной частей почвы, увеличение порозности почвы создают благоприятные условия для интенсивной аэрации. А фор-

мирование гребня увеличивает прогреваемую площадь. Весной просыхание и прогревание гребня начинается с вершины – места будущего размещения проростков сельскохозяйственных культур (Шульгин, А. Технология гребнеобразования // Агропромышленный портал «АгроXXI»: <https://www.agroxxi.ru/stati/tehnologija-grebneobrazovaniya.html>).

Своевременная обработка физически спелой почвы и формирование гребня способствуют созданию пористой структуры почвы с агрономически ценными агрегатами, близкими к естественным природным условиям, а также формированию благоприятной среды для возделывания культур. А капиллярная система гребней обеспечит будущие всходы почвенной влагой из нижележащих горизонтов. С помощью данной технологии возможно начинать сев на 7-10 дней раньше, чем традиционным способом [4].

Гребнистый способ посева пропашных культур. Многочисленными исследованиями [5-7] установлена перспективность гребнистого посева для пропашных культур. Технологические почвенные гребни формируются различными средствами механизации с активными и пассивными рабочими органами. Для этого промышленностью раньше выпускались специализированные сеялки.

В Ульяновском аграрном университете разработана сеялка с комбинированным сошником и катком. Она позволяет одновременно проводить предпосевную культивацию, высев семян на влажное уплотненное ложе с последующим формированием вала над высевными семенами и прикатыванием его с трех сторон в форме гребня требуемых размеров (рис. 1). В результате экспериментов ширина нижнего основания гребня формировалась на уровне 30-35 см, а верхнего – 8-11 см. Высота гребня от вершины до бороздки составляла 6-8 см [6].

В процессе движения стрельчатая лапа подрезает сорняки и снимает верхний слой почвы (2-3 см), формируя ложе для семян. Через полый семяпровод происходит процесс посева семян на сформированное ложе с заделкой на глубину 1,5-2,0 см. На следующем этапе стрельчатые лапы с перьями равномерно присыпают посевной материал слоем рыхлой и прогретой почвы, а диски и щетки формируют почвенный валок над семенами [5-7].

Активные и пассивные катки обеспечивают уплотнение гребней (рисунки 1, 2). Задние катки равномерно уплотняют боковые поверхности почвенного бугорка, создавая почвенный гребень высотой 6-8 см, шириной верхнего основания 8-11 см и нижнего – 30-35 см, и требуемой плотности. В процессе работы прикатывающие кольца воздействуют на верхнюю часть почвенного бугорка, в то время как сферические диски уплотняют боковые стороны, придавая окончательную форму и необходимую плотность.

По агротехническим требованиям плотность почвы должна составлять 1200 кг/м³. Плотность почвы под семенным ложем формируется обработкой почвы (основной и предпосевной) и дополнительным проходом лапы-сошника. Ре-



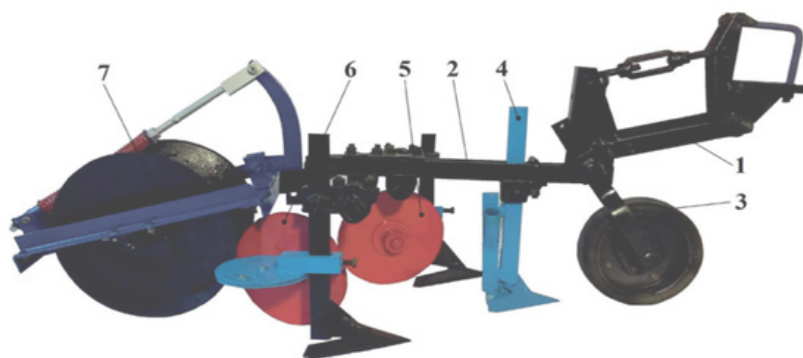
гулировкой пружины катка-гребнеобразователя ее можно изменять (Патент 2435353 РФ «Гребневая сеялка»), но в небольших диапазонах – 1336-1450 кг/м³ [5-7].

Возделывание кукурузы. Среди зерновых пропашных культур, высеваемых гребневым способом, можно выделить кукурузу. Гребневая технология позволяет получать в Нечерноземной полосе России початки кукурузы в молочно-восковой и восковой спелости. Она перспективна на хорошо дренируемых почвах с возможностью раннего весеннего прогрева.

Гребнистый посев обеспечивал положительную динамику температурного режима – температура в гребнях была выше на 0,5-2,0° С. Растения

на гребнях опережали в развитии на 5-10 дней традиционные посевы: всходы – на 4 дня, молочно-восковая и полная спелость – на 3-7 дней. Это обеспечивало более короткий вегетационный период и более раннюю уборку урожая.

Технология способствует увеличению площади листовой поверхности на различных стадиях развития растений: при формировании 9-го листа – на 4,4 тыс. м²/га, на этапе цветения – на 3,7 тыс. м²/га, в фазу молочно-восковой спелости – 3,5 тыс. м²/га. Также происходило повышенное накопление биомассы. В фазу 5 листьев сухая масса превышала варианты с традиционной технологией на 0,2 ц/га, в фазу 11 листьев – на 22,1 ц/га (Шевченко В.А., Загинайлов А.В., 2011).



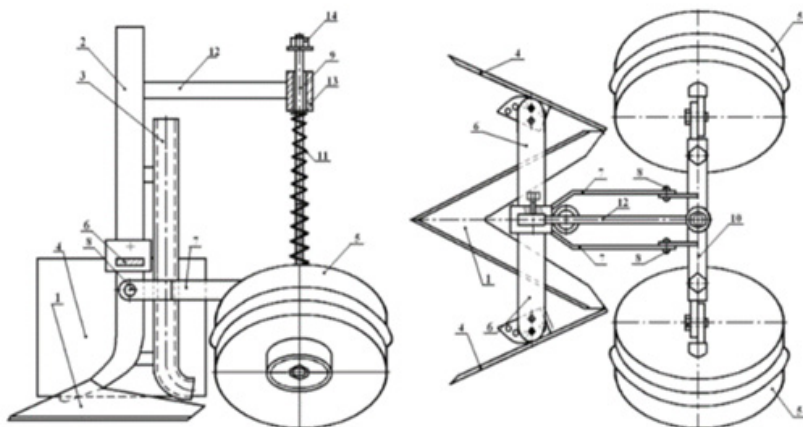
1 – механизм параллелограммного типа,
2 – продольный брус, 3 – колесо опорное,
4 – сошник в виде лапы,

5 – левый плоский диск, 6 – правый плоский диск, 7 – гребнеобразователь с катком

Рис. 1 – Гребнеобразующая секция сеялки [7]

1 – parallelogram mechanism,
2 – longitudinal beam, 3 – support wheel, 4 – foot-shaped coulter,
5 – left flat disk, 6 – right flat disk,
7 – ridge former with roller

Fig. 1 – Ridge-forming section of the seeder



1 – лапа стрелчатая, 2 – стойка, 3 – семяпровод, 4 – щитки плоские, 5 – каток прикатывающий,
6, 12 – кронштейны, 7 – S-образный кронштейн, 8 – шарниры, 9 – штанга вертикальная,

10 – ось поперечная,
11 – пружина, 13 – направляющая, 14 – гайка

Рис. 2 – Сошник для гребневой сеялки (вид сбоку, вид сверху) [7]

1 – arrow-shaped foot,
2 – stand, 3 – seed tube,
4 – flat shields, 5 – compactor roller, 6, 12 – brackets,
7 – S-shaped bracket,
8 – hinges, 9 – vertical rod,
10 – transverse axis,
11 – spring, 13 – guide, 14 – nut

Fig. 2 – Coulter for ridge seeder (side view, top view)

Технологические приемы гребневого посева кукурузы влияют на формирование корневой системы. За счет гребня увеличивается мощность плодородного слоя, тепловой режим и другие агрофизические свойства, способствующие накоплению массы корней в 2,6-3,4 раза больше в фазу 9-го листа и в 1,4-1,5 раза – в фазу выметывания по сравнению с традиционной технологией (Шевченко В.А., Загинайлов А.В., 2011).

Данная технология обеспечивает более активную деятельность целлюлозоразрушающей

микробиоты. Аэробные микроорганизмы разлагают льняное полотно на 73-86 % в гребнях, а при традиционном посеве только на 33-38 %. Это достигается рыхлой структурой почвенного покрова и свободным доступом воздуха внутрь гребня, а также более высокой температурой почвенного слоя (Шевченко В.А., Загинайлов А.В., 2011).

При посеве кукурузы на гребнях повышается урожайность зеленой массы на 5,7-6,3 т/га, початков – на 1,0-4,8 т/га по сравнению с посевом на гладкой поверхности. В среднем урожайность



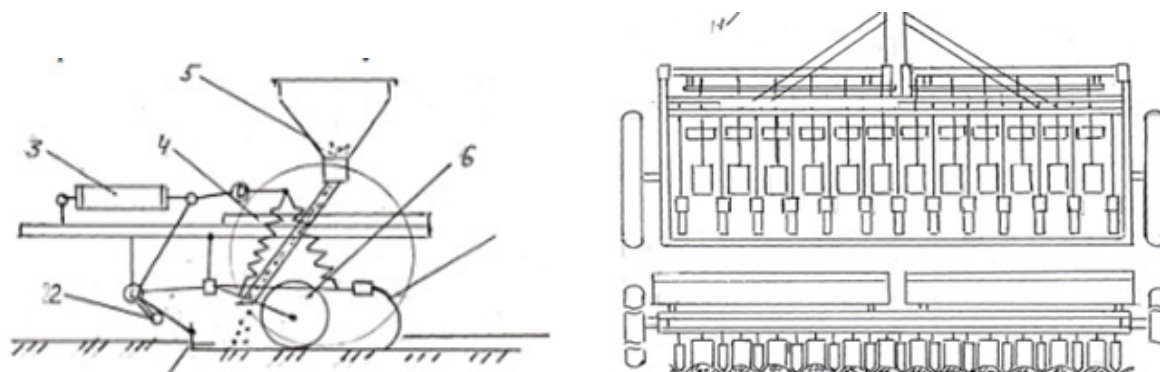
кукурузы при гребнистой технологии составляла 106 ц/га, что на 16 % больше, чем при традиционных формах возделывания (Шевченко В.А., Загайнов А.В., 2011).

Посев зерновых культур традиционно производится сеялками СЗ-3,6. При традиционном узкорядном, ленточном и полосном посеве наиболее распространенными типами сошников являются дисковые, лаповые и анкерные. Так, по исследованиям в Иркутской области [8] посевные площади распределяются в следующем порядке по использованию данных типов сошников: дисковые – 7 %, анкерные – 14 %, лаповые – 60 %. Преимущества лаповых: оптимизация площади питания растений, снижение засоренности в 2-4 раза. Это позволяет наиболее активно использовать их в сельскохозяйственном производстве. Анкерные и дисковые сошники, в свою очередь, обеспечивают лучшую заделку семян на заданную глубину – до 76 % и 65 % соответственно, а лаповые только 58 % [8].

Гребнистый ленточно-разбросной способ посева. Для данного способа посева сеялку СЗ-3,6 переоборудуют в гребне-катковую – СЗГК-3,6 (рис. 3). Впереди устанавливают специаль-

ное устройство, обеспечивающее освобождение семенного ложа от верхнего 6-8-сантиметрового пересохшего слоя, что позволяет высевать семена во влажный слой почвы. Это достигается конструктивными особенностями сошников от сеялки СЗП-3,6А-02Б. Снимаемый слой почвы образует гребень с рядом высеванными семенами (Алабушев А.В. и др., 2010).

В соответствии с технологической схемой семена рассеиваются по поверхности поля лентами шириной 13-15 см. Следующей операцией производится прикатывание для более плотного контакта семян с почвой. Ширина катка 10 см. При движении загортача семена укрываются слоем почвы в виде гребня высотой 4-8 см. Данный способ посева более технологичен и адаптивен для почвенно-климатических условий средней полосы России, обеспечивает большую устойчивость посевов к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям (Патент 188274 РФ «Сеялка зерновая»). Он локально уплотняет почву в месте расположения семян, является энергосберегающим, позволяя отказаться от дополнительного прохода комбинированного агрегата РВК-3,6 при предпосевной обработке почвы [2,3]



1 – устройство формирования семенного ложа, 2 – подъемное устройство, 3 – гидроцилиндр, 4 – рама, 5 – ящик зернотуковый, 6 – каток, 7 – лапа

Рис. 3 – Схема гребне-катковой зерновой сеялки СЗГК-3,6У (Патент 188274 РФ «Сеялка зерновая»)

1 – seedbed forming device, 2 – lifting device, 3 – hydraulic cylinder, 4 – frame, 5 – grain and fertilizer box, 6 – roller, 7 – foot

Fig. 3 – Scheme of the ridge-roller grain seeder SZGK-3.6U

Среди недостатков можно отметить увеличенное количество проросших сорных растений. Междурядья шириной 25 см благоприятствуют развитию сорной растительности (Алабушев А.В. и др., 2010).

Образуемые гребни формируют капиллярную систему, способную доставлять влагу к семенам. Рыхлый слой почвы предотвращает излишнюю потерю влаги. В дневные часы влага накапливает тепло за счет высокой теплопроводности и сохраняет его в ночное время, формируя благоприятные гидротермальные условия для прорастания семян. Температура почвы на 3-4° С выше, чем при традиционном посеве. За счет этого основные фазы развития растений наступают раньше, чем при традиционных способах посева.

Инновационная технология посева с размеще-

нием на профилированной поверхности создает благоприятные условия для перезимовки растений в зонах достаточного и избыточного увлажнения, что способствует росту и развитию, повышению продуктивности [4].

В условиях Предбайкалья [8] при недостаточном увлажнении во время весенне-летней засухи почва в гребнях быстрее просыхает и происходит замедление прорастания и развития семян. Но при наличии высоких грунтовых вод данная технология позволяет получать дополнительную прибавку урожая пшеницы по сравнению с традиционными системами.

Зерновые, высеванные гребнистым ленточно-разбросным способом в Тверской области [2, 9-11], обладают повышенной (на 10,3 %) полевой всхожестью (в среднем 77,8 %: овес – 80 %, рожь – 85 %, пшеница – 77,8 %).



рожь – 88,7 %, тритикале – 89 %), выживаемостью (+5,8 %) и сохранностью. Семена заделываются не глубже 3,0 см. Технология обеспечивает увеличение количества продуктивных стеблей в среднем на 17,8 %, числа зерен в колосе у овса и озимой ржи – на 4,7-17,9 %, массы зерна с колоса на 10 % (в частности, у овса – на 17-24 %, озимой ржи – на 8-10 %). Продуктивность повышается на 0,2-1,2 т/га.

Возделывание озимых зерновых культур.

Особенно эффективен гребнистый посев при возделывании озимых в Нечерноземной полосе. Во время зимних оттепелей растения страдают от выпревания и формирования ледяной корки, в весенний период – от застоя влаги [10, 12].

Многолетние исследования ВНИИМЗ (Митрофанов Ю.И. и др., 2018) показали, что лучшие агроэкологические условия при выращивании озимой ржи создаются при посеве ее на профилированной мелко гребнистой поверхности. Гребнистый посев позволяет улучшить порозность устойчивой аэрации в зоне узла кущения (0-5 см) на 27,7-71,1 % в течение всего вегетационного периода. Увеличивается площадь испаряющей поверхности. Форма гребня способствует лучшей циркуляции воздуха и ускоренному прогреву почвы за счет солнечного излучения. В верхнем пятисантиметровом слое влажность почвы к моменту всходов была ниже на 2,2 абс.%, в фазу кущения и колошения соответственно на 2,7 абс.% и 1,0 абс.% [13].

По результатам многолетних опытов [2] узел кущения у ржи располагается на глубине 1-2 см, что значительно выше основания гребня. Глубина заделки семян при гребнистой технологии не превышает 3 см, что позволяет расположить семена в зоне устойчивой аэрации. Это позволяет защитить всходы от переувлажнения. Ледяная корка формируется у подножия гребня, не причиняя вреда растениям [2].

Возделывание озимых по гребнистой технологии способствует активизации процесса прорастания семян, дружные всходы появляются раньше на 1-2 дня. Повышается кустистость на 9-22 % и количество продуктивных побегов на 10-23 %. Обеспечивается лучшая сохранность растений при перезимовке на 6-19 %. Биомасса растений возрастает на 14%, количество зерна – на 15-34 % [2, 10, 14].

Данная технология за счет агротехнологических приемов сокращает засоренность посевов ржи, а аэрация снижает заболеваемость корневыми гнилями до 40 % [2].

Посев по профилированной поверхности позволяет сократить прямые затраты на производство 1 т зерна на 10 % и повысить стоимость дополнительно полученной продукции с 1 га. По культурам она колебалась в пределах 1620-9520 рублей [2].

Возделывание овса. Агрофизическое состояние подпосевного слоя почвы при гребнистом ленточно-разбросном способе посева – 1,13-1,16 г/см³ (в среднем 1,14 г/см³), что объясняется формированием плотного ложа для семян. В

то же время в посевном пятисантиметровом слое плотность почвы составляла в среднем 1,09 г/см³, что является оптимальным. За счет этого снижается влажность почвенного слоя на 4 %. Технология возделывания овса ленточно-разбросным способом на гребнях способствует большему заглублению семян и залеганию узла кущения. Но при этом всходы наблюдались раньше на 2-3 дня, чем при традиционном способе посева, а полевая всхожесть увеличилась на 20-33 % (в среднем 12,7 %). Возрастала биомасса растений в фазу кущения на 12 % и площадь листовой поверхности на 11-14 %. Увеличивалась продуктивность метелки: количество зерен на 15 %, масса зерна на 24 %. За счет этого повышалась урожайность на 14-27 % [3, 13].

Гребнистый способ посева зерновых культур стал широко использоваться и в странах СНГ (Центральная Азия) на различных типах почв: серо-бурых, сероземах, красноземах, желтоземах со средним и легким механическим составом. При аридном климате зерновые требуют периодического полива. Поэтому для орошения ширину между гребнями увеличивают до 60-70 см, что позволяет высевать по 2-3 ряда семян (ленточный посев) с междурядьями 15 см. Данная технология позволяет производить полив по бороздам, что экономит расход до 30 % оросительной воды и предотвращает гибель аэробной педобиоты из-за лишнего подтопления. По оросительным бороздам возможен проход сельскохозяйственной техники для ухода за растениями. В Киргизии (Асаналиев А.Ж. и др., 2012) наиболее распространена гребневая сеялка СВР-2,8. Она обеспечивает снижение нормы высева в 1,5-2,0 раза. При этом урожайность зерна озимой пшеницы возрастает в 1,7 раза (с 5,0 до 8,3 ц/га).

Заключение

Для регионов Нечерноземной полосы (например, Тверской области) с агроклиматическими условиями гумидной зоны с засухами в начале летнего сезона перспективным способом посева зерновых культур можно считать гребнистый ленточно-разбросной. Профилированная гребнистая поверхность формирует оптимальные агротехнические условия, улучшает водно-воздушный режим почвы. Гребнистая технология повышает устойчивость посевов к неблагоприятным условиям в зимний период, а также увеличивает количество семян в колосе и продуктивность возделываемых культур. Гребнистая технология позволяет сократить прямые затраты на производство 1 т зерна на 10 % и повысить рентабельность сельскохозяйственного производства.

Для посева зерновых культур с использованием гребнистого ленточно-разбросного способа в гумидной зоне рекомендуется использовать гребне-катковые сеялки СЗГК-3,6.

Список источников

1. Дерюгина И. В. Сельское хозяйство стран Азии: инновации в целях продовольственной безопасности. *Инновации и инвестиции*. 2019;7:3-10.
2. Митрофанов Ю. И., Анциферова О. Н. Гребнистый способ посева зерновых культур



на осушаемых землях. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;3(21):301-312. DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.3.301-312.

3. Митрофанов Ю. И. и др. Улучшенный гребнистый способ посева овса на осушаемых землях. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(4):32-35. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10406.

4. Сатункин И. В. и др. Эффективность комплекса мероприятий при реализации программы мелиорации земель в Оренбургской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021;1(87):30-34. DOI 10.37670/2073-0853.

5. Зыкин Е. С., Курдюмов В. И., Албутов С. П. Влияние прикатывающего колеса катка-гребнеобразователя на плотность почвы в гребне. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025;3(71):206-211. DOI 10.18286/1816-4501-2025-3-206-211.

6. Зыкин Е. С., Албутов С. П., Курдюмов В. И. Определение абсолютной скорости почвы, смещаемой сферическим диском катка гребневой сеялки. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021;2(54):13-18. DOI 10.18286/1816-4501-2021-2-13-18.

7. Зыкин Е. С. и др. Теоретическое обоснование тягового сопротивления катка гребневой сеялки. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021;4(45):161-166. DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-4-161-166.

8. Поляков Г. Н., Шуханов С. Н., Косарева А. В. Совершенствование технических средств для возделывания яровых зерновых культур с разработкой сеялки для посева в ряды. *Перм-*

ский аграрный вестник. 2022;2(38):33-41. DOI 10.47737/2307-2873_2022_38_33.

9. Митрофанов Ю. И., Смирнова Ю. Д., Анциферова О. Н., Первушина Н. К. Влияние метеоусловий и технологических приемов на формирование структурной основы урожая яровой пшеницы. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2025;2:69-75. DOI 10.31857/S2500208225020149.

10. Митрофанов Ю. И. Особенности земледелия на осушаемых почвах. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2022;65(4(388)):423-428. DOI 10.55186/25876740_2022_65_4_423.

11. Митрофанов Ю. И., Пугачева Л. В., Смирнова Н. А. Улучшенный гребнистый способ посева озимой ржи на осушаемых землях. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020;5(377):48-51. DOI 10.24411/2587-6740-2020-15092.

12. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Гайдидей С. В., Зырянов Д. А. Результаты сравнительного исследования сошниковых групп сеялки полосного посева семян трав в дернину. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(2):273-282. DOI 10.30766/2072-9081.2024.25.2.273-282.

13. Смирнова Ю. Д. и др. Сравнение технологий возделывания яровой пшеницы в Нечерноземной зоне России. *Пермский аграрный вестник*. 2025;3(51):64-70. DOI 10.47737/2307-2873_2025_51_64.

14. Митрофанов Ю. И. и др. Влияние осушения, удобрений и агромелиоративных приемов на урожайность яровой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*. 2023;6:82-89. DOI 10.31367/2079-8725-2023-89-6-82-89.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Deryugina I. V. Sel'skoe khozyaistvo stran Azii: innovatsii v tselyakh prodovol'stvennoi bezopasnosti (Asian agriculture: innovations for food security). *Innovation & Investment*. 2019;7:3-10. (in Russ.).
2. Mitrofanov Yu. I., Antsiferova O. N. Ridge method of sowing crops on drained lands. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;3(21):301-312. (in Russ.). DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.3.301-312.
3. Mitrofanov Yu. I. et al. Improved rig method for sowing oats on drained lands. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020;34(4):32-35. (in Russ.). DOI 10.24411/0235-2451-2020-10406.
4. Satunkin I. V. et al. The effectiveness of the system of measures used to realize the land reclamation program in the Orenburg region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;1(87):30-34. (in Russ.). DOI 10.37670/2073-0853.
5. Zykin E. S., Kurdyumov V. I., Albutov S. P. The effect of the press wheel of a ridge-forming roller on soil density in a ridge. *Scientific Theoretical Journal Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2025;3(71):206-211. (in Russ.). DOI 10.18286/1816-4501-2025-3-206-211.
6. Zykin, E. S., Albutov S. P., Kurdyumov V. I. Specification of the absolute speed of the soil displaced by the spherical disc of the ridge seeder roller. *Scientific Theoretical Journal Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;2(54):13-18. (in Russ.). DOI 10.18286/1816-4501-2021-2-13-18.
7. Zykin E. S. et al. Theoretical substantiation of the traction resistance of the ridge seeder. *Electrical technology and equipment in the agro-industrial complex*. 2021;4(45):161-166. (in Russ.). DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-4-161-166.
8. Polyakov G. N., Shukhanov S. N., Kosareva A. V. Improvement of technical means for the cultivation of spring grain crops with the development of a seeder for sowing in ridges. *Perm Agrarian Journal*. 2022;2(38):33-41. (in Russ.). DOI 10.47737/2307-2873_2022_38_33.
9. Mitrofanov Yu. I., Smirnova Yu. D., Antsiferova O. N., Pervushina N. K. Influence of weather conditions and technological methods on the spring wheat crop structural basis formation. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2025;2:69-75. (in Russ.). DOI 10.31857/S2500208225020149.



10. Mitrofanov Yu. I Features of agriculture on drained soils. *International agricultural journal*. 2022;65(4(388)):423-428. (in Russ.). DOI 10.55186/25876740_2022_65_4_423.
11. Mitrofanov Yu. I., Pugacheva L. V., Smirnova N. A. Improved comb method of sowing winter rye on drained lands. *International agricultural journal*. 2020;5(377):48-51. (in Russ.). DOI 10.24411/2587-6740-2020-15092.
12. Sysuev V.A., Demshin S.L., Gaididei S.V., Zyryanov D.A. Results of a comparative study of coulter groups of a seeder for strip sowing of grass seeds in the sod. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(2):273-282. (in Russ.). DOI 10.30766/2072-9081.2024.25.2.273-282.
13. Smirnova Yu. D. et al. Comparison of technologies for growing spring wheat in the non-black soil zone of Russia. *Perm Agrarian Journal*. 2025;3(51):64-70. (in Russ.). DOI 10.47737/2307-2873_2025_51_64.
14. Mitrofanov Yu. I. et al. The effect of drainage, fertilizers, and agro-reclamation techniques on spring wheat productivity. *Grain Economy of Russia*. 2023;6:82-89. (in Russ.). DOI 10.31367/2079-8725-2023-89-6-82-89.

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

Трешкин Игорь Александрович, канд. с.-х. наук, доцент кафедры технологических и транспортных машин и комплексов, ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия, зав. лабораторией плодородия почв отдела биотехнологий ВНИИМЗ, ст. научн. сотрудник ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева, г. Москва, Россия infotia@inbox.ru

Голубев Вячеслав Викторович, д-р техн. наук, заведующий кафедрой технологических и транспортных машин и комплексов, профессор, профессор РАН, ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия, vgolubev@tvgsa.ru

Фирсов Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры технологических и транспортных машин и комплексов, доцент, ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия, sevenrom777@yandex.ru

Author Information

Igor A. Treshkin, Cand.Sc. (Agriculture), Associate Professor, Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Tver State Agricultural Academy; Head of the Soil Fertility Laboratory, Biotechnology Department, VNIIMZ; Senior Researcher, Dokuchaev Federal Research Center, Soil Science Institute, Moscow, Russia infotia@inbox.ru

Vyacheslav V. Golubev, D.Sc. (Engineering), Head of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Tver State Agricultural Academy, Tver, Russia vgolubev@tvgsa.ru

Anton S. Firsov, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Associate Professor, Tver State Agricultural Academy, Tver, Russia sevenrom777@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 30.04.2026; одобрена после рецензирования 15.06.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 30.04.2026; approved after reviewing 15.06.2026; accepted for publication 16.09.2026.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.532.2 + 631. 331.072.3
DOI: 10.36508/RSATU.2026.31.99.025

ТЕХНОЛОГИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ФИТОПРОЧИСТКИ
СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОГО ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ
ПРЕПАРАТА

Максим Сергеевич Трунов¹, Сергей Николаевич Петухов¹, Сергей Александрович Пехнов¹,
Алексей Юрьевич Овчинников¹

¹ ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

✉ makstrunov1998@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Ручная фитопроочистка посадок семенного картофеля на ранних стадиях вегетации (высота кустов 10-20 см) требует высоких трудозатрат, а сплошное химическое опрыскивание не обеспечивает адресного уничтожения отдельных больных или примесных растений и повреждает соседние здоровые кусты. Целью работы является обоснование технологии дифференцированной химической фитопроочистки посадок семенного картофеля путём локального внутрипочвенного внесения препарата в корневую зону отдельных заранее отмеченных растений.

Методология. Проведён сравнительный анализ трёх технических решений – системы бокового внутригребневого внесения SRi™, мультиинжекторных систем внутрипочвенного внесения жидких удобрений и ручного почвенного инжектора AccuFlo Soil Injector ISD – по критериям характера внесения, числа рабочих органов, локальности и адресности воздействия. На основе анализа предложена технологическая схема с использованием одного вертикального инжектора, управляемого оператором с низкой платформы тракторного прицепа.

Результаты. Установлено, что мультиинжекторные системы реализуют многоточечное сплошное внесение по ряду и непригодны для удаления одного куста, тогда как ручной инжектор AccuFlo обеспечивает высокую адресность, но применим только вручную; предложенная технология сочетает локальность ручной инъекции с механизированным приводом.

Заключение. Предложенная технология обеспечивает адресное воздействие на отдельные заранее отмеченные растения при высоте кустов 10-20 см, снижая расход рабочего раствора и риск повреждения соседних кустов по сравнению со сплошным опрыскиванием и многоточечными системами внесения.

Ключевые слова: семенной картофель, дифференцированная фитопроочистка, локальное внутрипочвенное внесение, почвенная инъекция, вертикальный инжектор, точечное внесение препарата, фитосанитарная обработка

Для цитирования: Трунов М.С., Петухов С.Н., Пехнов С.А., Овчинников А.Ю. Технология дифференцированной химической фитопроочистки семенного картофеля методом локального внутрипочвенного внесения препарата // Вестник Рязанского государственного агроинженерного университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 3, С.179-185 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.31.99.025](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.31.99.025)

Original article

TECHNOLOGY OF DIFFERENTIATED CHEMICAL ROGUING OF SEED POTATOES
BY LOCAL SUBSURFACE APPLICATION OF THE PREPARATION

Maksim S. Trunov¹, Sergey N. Petukhov¹, Sergey A. Pekhnov¹, Aleksey Yu. Ovchinnikov¹

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

✉ makstrunov1998@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. Manual roguing of seed potato plantings at early growth stages (bush height 10–20 cm) requires high labor costs, while broadcast chemical spraying does not provide targeted destruction

© Трунов М.С., Петухов С.Н., Пехнов С.А., Овчинников А.Ю., 2026 г.



of individual diseased or off-type plants and damages neighboring healthy bushes. The aim of the study is to justify a technology of differentiated chemical roguing of seed potato plantings by local subsurface application of a preparation into the root zone of individual pre-marked plants.

Methodology. A comparative analysis of three technical solutions was carried out — the SRi™ side ridge injection system, multi-injector systems for subsurface liquid fertilizer application, and the AccuFlo Soil Injector ISD manual soil injector. The analysis was based on the criteria of application pattern, number of working elements, and locality and precision of treatment. On the basis of this analysis a technological scheme using a single vertical injector operated by an operator from a low platform of a tractor trailer was proposed.

Results. It was established that multi-injector systems perform multi-point continuous application along the row and are unsuitable for removing a single plant, whereas the AccuFlo manual injector provides high precision but is applicable only manually. The proposed technology combines the locality of manual injection with mechanized operation.

Conclusion. The proposed technology provides targeted treatment of individual pre-marked plants at a bush height of 10–20 cm, reducing working solution consumption and the risk of damage to neighboring bushes compared to broadcast spraying and multi-point application systems.

Key words: seed potato, differentiated roguing, local subsurface application, soil injection, vertical injector, seed potato production, targeted preparation application, phytosanitary treatment

For citation: Trunov M.S., Petukhov S.N., Pekhnov S.A., Ovchinnikov A.Yu. Technology of differentiated chemical roguing of seed potatoes by local subsurface application of the preparation // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P.179-185 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.31.99.025](https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.31.99.025)

Введение

Получение качественного посадочного материала картофеля требует своевременного удаления больных растений и сортовой примеси на семеноводческих посадках (ГОСТ Р 33996–2016; FAO, 2008). Особое значение эта операция имеет в период первой и второй фитопрочистки, когда растения находятся на ранних стадиях развития, а высота кустов обычно составляет 10–20 см. Именно в этот период поражённые и нетипичные растения должны быть удалены максимально оперативно и точно, так как их сохранение в посадках повышает риск дальнейшего распространения инфекции (Анисимов Б.В. и др., 2015) [11] и увеличивает долю сортовой примеси, что приводит к снижению кондиционности семенного материала (ГОСТ Р 33996–2016).

Традиционно фитопрочистка в семеноводстве картофеля выполняется вручную (Cortbaoui R., 2000), что сопряжено со значительными затратами труда и низкой производительностью. Альтернативой может рассматриваться химическое воздействие, однако сплошное опрыскивание ряда или участка не соответствует задаче избирательного удаления отдельных растений, поскольку при таком подходе препарат воздействует не только на объект обработки, но и на соседние здоровые кусты. Следовательно, для условий семеноводства требуется такой технологический подход, который сочетал бы химический способ уничтожения нежелательного растения с высокой адресностью воздействия.

Разработка подобных технологий соответствует общей тенденции цифровизации и роботизации технических средств в сельском хозяйстве [4, 5, 7].

В современных технологиях внутрипочвенного внесения жидких препаратов преобладают системы, ориентированные на обработку ряда, гребня или значительной площади поля [6]. Ручные почвенные инъекторы, напротив, обеспечивают точечную обработку, однако не приспособлены к механизированному применению в технологии ранней фитопрочистки картофеля.

В связи с этим возникает необходимость разработки технологии, позволяющей осуществлять дифференцированную химическую фитопрочистку не по площади, а по отдельным заранее отмеченным растениям. Сущность такого подхода состоит в локальном внутрипочвенном внесении препарата непосредственно в корневую зону конкретного куста, подлежащего удалению.

Целью исследования является обоснование технологии дифференцированной химической фитопрочистки посадок семенного картофеля путём локального внутрипочвенного внесения препарата в корневую зону отдельных заранее отмеченных больных или примесных растений на ранних стадиях вегетации. Задачи исследования: провести анализ существующих способов химического и внутрипочвенного внесения жидких препаратов; оценить применимость известных технических решений для адресного уничтожения отдельных растений; выявить ограничения сплошных и многоточечных систем внесения; предложить технологическую схему локального внутрипочвенного внесения препарата; обосновать преимущества предлагаемой технологии по сравнению с ручной прочисткой, сплошным опрыскиванием и многоточечными инъекционными системами.

Материалы и методы исследования

Материалами исследования послужили литературные и технические источники, посвящённые существующим способам почвенного и внутрипочвенного внесения жидких препаратов, а также технологическая схема дифференцированной химической фитопрочистки посадок семенного картофеля. В качестве основных объектов сравнительного анализа были рассмотрены система бокового внутригребневого внесения SRi™, мультиинжекторные системы внутрипочвенного внесения жидких удобрений [6] и ручной почвенный инъектор AccuFlo Soil Injector ISD.

В работе использованы методы анализа и обобщения научно-технической информации, сравнительного анализа существующих решений, а также логико-технологического моделирования



процесса фитопрочистки. Сравнение аналогов проводили по следующим основным признакам: характер внесения рабочей жидкости, число одновременно действующих рабочих органов, локальность воздействия, глубина внесения, пригодность для обработки отдельных заранее отмеченных растений и возможность применения на ранних стадиях развития картофеля.

Сущность предлагаемой технологии определяли на основе структурного разложения технологи-

ческого процесса на последовательные операции: предварительное выявление и маркировка растений, подлежащих удалению; визуальное обнаружение отмеченного куста оператором; остановка агрегата; позиционирование рабочего органа; вертикальное заглубление инжектора в корневую зону растения; локальный впрыск рабочей жидкости; извлечение инжектора из почвы и переход к следующему объекту обработки.

Таблица 1 – Сравнение аналогов и предлагаемой технологии по ключевым признакам

Решение	Характер внесения	Число рабочих органов	Адресность воздействия	Пригодность для удаления одного куста
Мультиинжекторные системы	Многоточечное внутрипочвенное внесение по площади/ рядку	Множество игл	Низкая	Непригодно
Ручной инжектор AccuFlo ISD	Локальная почвенная инъекция	Один ланцет	Высокая	Пригодно по принципу, но только в ручном режиме
Предлагаемая технология	Локальное внутрипочвенное внесение в прикорневую зону отмеченного растения	Один вертикальный инжектор	Высокая	Пригодно для адресной фитопрочистки

Проведённый анализ показывает, что в современной практике применяются различные способы внутрипочвенного внесения жидких препаратов, однако они ориентированы преимущественно либо на сплошную обработку, либо на массовое внесение по площади, а не на адресное уничтожение отдельных растений. Одним из примеров полосного внесения является система бокового внутригребневого впрыска SRi™ (Side Ridge Injection), предназначенная для подачи раствора в зону гребня, а не к отдельному выбранному кусту.



Рис. 1 – Система бокового внутригребневого внесения препарата SRi™

(Side Ridge Injection, Target Set Technology, Великобритания)

Fig. 1 – Side Ridge Injection System SRi™ (Target Set Technology, UK)

Наиболее близким по принципу действия к предлагаемому решению является ручной почвенный инжектор AccuFlo Soil Injector ISD. Его достоинство заключается в том, что он реализует локальную почвенную инъекцию и обеспечивает дозированную подачу рабочей жидкости. Однако данная система разработана как ручное средство

для индивидуального применения и не решает задачу механизированной фитопрочистки посадок семенного картофеля.

Наряду с системой SRi™ известны многоочечные внутрипочвенные системы, реализующие массовую подачу раствора через несколько рабочих органов [6]. К ним относятся мультиинжекторные колёсные системы, используемые для внесения жидких удобрений по рядку. В противоположность им ручные инжекторы обеспечивают требуемую локальность воздействия, но не обладают необходимой производительностью и технологической приспособленностью к полевой механизированной работе.

Таким образом, известные решения можно разделить на две основные группы: системы сплошного или полосного внесения, не обеспечивающие адресного воздействия на отдельное растение, и ручные почвенные инжекторы, обладающие нужной локальностью воздействия, но не адаптированные к полевой механизированной работе.

В отличие от систем спот-спрея сорняков [8, 9, 10, 12], где объект обработки достаточно надёжно идентифицируется автоматически по морфологическим и цветовым признакам на высокой скорости движения агрегата, диагностика больного или примесного куста картофеля требует визуальной экспертной оценки обученного агронома и не может быть на данном этапе развития технологий надёжно автоматизирована в движении. Это согласуется с направлением работ по роботизации фитосанитарных операций в семеноводстве картофеля [1-3], где также подчёркивается необходимость предварительной экспертной идентификации объекта обработки.

Исходя из этого, предложена технология, основанная на локальном внутрипочвенном внесении



препарата в корневую зону заранее отмеченного растения с использованием одного вертикального инжектора. Сущность предлагаемой технологии заключается в дифференцированной химической фитопрочистке посадок семенного картофеля пу-

тём локального внутрипочвенного внесения препарата непосредственно в корневую зону отдельных заранее отмеченных больных или примесных растений.



Рис. 2 – Существующие технические решения внутрипочвенного внесения жидких препаратов:

1) ручной почвенный инжектор AccuFlo® Soil Injector ISD (Arborjet, США) 2) мультиинжекторное колесо «Туман-2М» (Пегас-Агро);

Fig. 2 – Existing technical solutions for subsurface liquid application:

1) manual soil injector AccuFlo® Soil Injector ISD (Arborjet, USA)

2) multi-injector wheel "Tuman-2M" (Pegas-Agro);

На рисунке 3 представлен общий вид предлагаемого агрегата: 1 – трактор; 2 – прицепная рама; 3 – рабочее место оператора; 4 – вертикальный инжектор; 5 – привод опускания инжектора; 6 – насосный узел подачи препарата; 7 – ёмкость для рабочего раствора; 8 – опорное колесо; агрегат выполнен в виде тракторного прицепного модуля с низко расположенным рабочим местом оператора, ёмкостью для рабочего раствора, насосным узлом подачи препарата и одним вертикальным



Рис. 3 – Общий вид предлагаемого агрегата для дифференцированной химической фитопрочистки посадок семенного картофеля

Fig. 3 – General view of the proposed unit for differentiated chemical roguing of seed potato plantings

инжектором. Технологическая схема процесса включает предварительную разметку растений агрономом, перемещение агрегата по междурядью, визуальный контроль оператором, остановку агрегата при совмещении рабочей зоны с отмеченным кустом, вертикальное заглубление инжектора в почву, впрыск препарата в прикорневую область и извлечение инжектора с переходом к следующему растению.

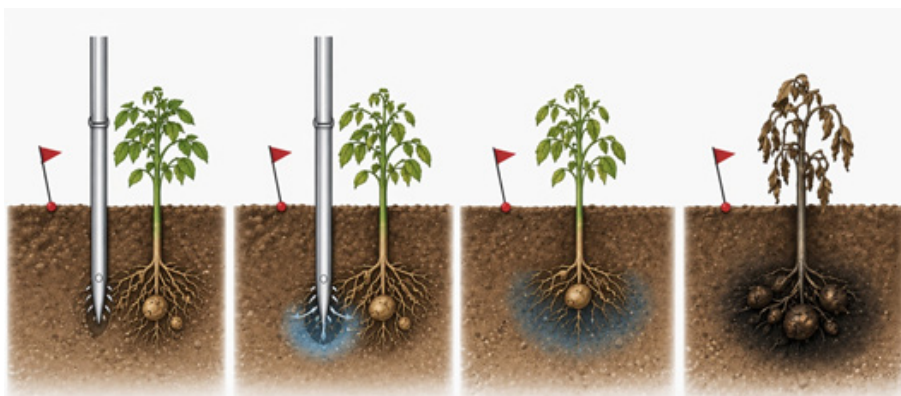


Рис. 4 – Последовательность выполнения дифференцированной химической фитопрочистки посадок семенного картофеля

Fig. 4 – Sequence of differentiated chemical roguing of seed potato plantings

На рисунке 4 представлена последовательность выполнения операции, показывающая заглубление инжектора, локальное внутрипочвенное внесение препарата, начальную стадию воздействия на растение и конечный результат обработки. Используемые препараты обеспечивают гибель обрабатываемого растения при поглощении корневой системой, что ограничивает период его сохранения в посадках как потенциального источника инфекции (Transmission of Potato Viruses by Aphids, 2000).

Позиции на рисунке 4 соответствуют после-

довательным этапам обработки: а) позиционирование и заглубление инжектора в прикорневую зону отмеченного растения; б) локальное внутрипочвенное внесение препарата в корневую зону; в) начальная стадия воздействия препарата на растение и корневую зону; г) результат обработки — увядание и гибель обработанного растения. (Transmission of Potato Viruses by Aphids, 2000).

В качестве возможной рабочей жидкости рассматривается ряд действующих веществ, различающихся по механизму действия и характеру поведения в почве (табл. 2).



Таблица 2 – Обзор потенциальных действующих веществ для локального внутрипочвенного внесения

Действующее вещество	Механизм действия	Подвижность в почве	Локальность действия (риск для соседних растений)
Глифосат	Ингибирование EPSP-синтазы	Сильная сорбция на почве	Низкая надёжность при почвенном внесении
Метрибузин	Ингибирование фотосистемы II	Умеренная	Умеренный риск, дозозависимый
Гексазинон	Ингибирование фотосистемы II	Высокая	Повышенный риск для соседних растений
Тебутиурон	Ингибирование фотосистемы II	Высокая	Повышенный риск
Пиклорам	Синтетический ауксин	Высокая	Высокий риск для соседних растений и последующих культур

Проведённый анализ рассмотренных действующих веществ показал, что часть из них по своим свойствам потенциально подходит для реализации технологии локального почвенного внесения препарата.

Независимо от выбора конкретного действующего вещества, последовательность технологических операций по обработке одного растения остаётся неизменной и представлена на рисунке 5.



Рис. 5 – Технологическая схема цикла обработки одного растения
Fig. 5 – Technological scheme of the single-plant treatment cycle

Рисунок 5 иллюстрирует полный цикл обработки одного растения, состоящий из восьми последовательных операций: разметки растения агрономом, визуального обнаружения отмеченного куста оператором, остановки агрегата, наведения рабочего органа, заглубления инжектора в корневую зону, локального впрыска препарата, извлечения инжектора из почвы и перехода к следующему отмеченному растению.

Для формализованного описания предлагаемой технологии цикл обработки одного растения может быть представлен как сумма последовательно выполняемых операций:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{обн}} + t_{\text{ост}} + t_{\text{поз}} + t_{\text{заг}} + t_{\text{впр}} + t_{\text{под}} + t_{\text{пер}}$$

$$W = 3600 / T_{\text{ц}}$$

$$Q = q \cdot N$$

где:

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность полного цикла обработки одного растения, с;

W – производительность, растений/ч;

Q – общий расход рабочего раствора;

q – доза препарата на одно растение;

N – количество обработанных растений.

Приведённые зависимости носят рамочный характер и предназначены для последующей параметризации после выбора конкретного препарата, дозы и технических характеристик агрегата; в рамках настоящей статьи количественная оценка не проводится.

Результаты исследований и их обсуждение

Научная новизна исследования заключается в разработке технологии дифференцированной химической фитопрочистки семенного картофеля, основанной на механизированном локальном внутрипочвенном внесении препарата в корневую зону отдельных заранее отмеченных растений с помощью одного вертикального инжектора. Новизна подхода состоит в переносе принципа точечной почвенной инъекции из ручного режима в механизированный тракторный агрегат с оператором, что ранее не применялось в семеноводстве картофеля.

Практическая значимость работы определяется тем, что предлагаемая технология позволяет проводить высокоизбирательную фитопрочистку на ранних стадиях вегетации, существенно снижая трудоёмкость по сравнению с ручной прочисткой и минимизируя непроизводительный расход препаратов и риск повреждения здоровых растений.

Сравнение предлагаемой технологии с аналогами по ключевым признакам (табл. 1) показало, что она обеспечивает высокую адресность воздействия при механизированном приводе, тогда как мультиинжекторные системы обладают низкой адресностью, а ручной инжектор Ассифло непригоден для механизированного применения.

К основным преимуществам предлагаемой технологии относятся: высокая избирательность воздействия за счёт локального внесения препарата только в зону корневой системы отмеченного



растения; возможность применения на ранних стадиях вегетации при высоте кустов 10-20 см; снижение трудоёмкости по сравнению с ручным удалением больных и примесных растений; снижение расхода рабочей жидкости за счёт локального, а не сплошного внесения; минимизация побочного воздействия на соседние здоровые растения и прилегающую почву; простота реализации за счёт использования одного вертикального инжектора.

Практическая реализация технологии в равной степени зависит от надёжности предварительной разметки растений: устойчивости используемых маркеров к погодным условиям и временному разрыву между разметкой и обработкой, а также от выбора действующего вещества с учётом ограничения его латеральной миграции в почве (табл. 2).

Закключение

Проведённый анализ показал, что известные способы внесения жидких препаратов в почву в основном ориентированы либо на сплошную обработку, либо на многоточечное внутрипочвенное внесение по площади и не обеспечивают требуемой адресности при удалении отдельных больных или примесных растений семенного картофеля.

Предложена технология дифференцированной химической фитоочистки посадок семенного картофеля, основанная на локальном внутрипочвенном внесении препарата в корневую зону отдельных заранее отмеченных растений с использованием одного вертикального инжектора, обеспечивающая адресное воздействие на конкретный куст без сплошной обработки ряда и без применения многоточечных систем внесения.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на подбор оптимального действующего вещества с учётом ограничения его латеральной миграции в почве, экспериментальную оценку дозы, минимизирующей риск повреждения соседних растений, разработку надёжного и устойчивого способа маркировки отмеченных растений, а также разработку рабочих чертежей агрегата и экспериментальную оценку его производительности и эффективности в производственных условиях.

Список источников

1. Аксенов А. Г., Трунов М. С., Петухов С. Н. Обоснование концепции роботизированного комплекса для повышения эффективности фитоса-

нитарных работ в семенных посадках картофеля. *Вестник РГАТУ*. 2023;4:96-105.

2. Дорохов А. С. и др. Обоснование инновационной технологии сортофитоочистки в селекционно-семеноводческих посадках картофеля. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(1):98-111.

3. Измайлов А. Ю. и др. Теоретическое обоснование манипулятора для автоматизированного удаления растений в семеноводстве. *Вестник Казанского государственного университета*. 2025;20(1(77)):54-62.

4. Лачуга Ю. Ф. и др. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве. *Техника и оборудование для села*. 2022;3(297):2-9.

5. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021;15(4):6-10.

6. Милюткин В. А. Российские инновационные агрегаты «Туман» (опрыскиватель и мультиинжектор) ООО «Пегас-Агро» для внесения жидких удобрений КАС. *Вестник аграрной науки Дона*. 2022;15(3(59)):84-95.

7. Ценч Ю. С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022;16(2):4-13.

8. Allmendinger A. [et al.] A Review and a Design of a New CNN-Based Modular Precision Sprayer. *Agronomy*. 2022;12(7):1620.

9. Allmendinger A. [et al.] Agronomic and Technical Evaluation of Herbicide Spot Spraying. *Plants*. 2024;13(15):Art.2164.

10. Gerhards R. [et al.] Advances in site-specific weed management in agriculture. *Weed Research*. 2022;62(2):123-133.

11. Kreuze J. F. et al. Viral Diseases in Potato. The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. *Cham: Springer*. 2020:389-430.

12. Maillot T. [et al.] Site-specific herbicide spraying can control weeds as well as broadcast spraying while reducing herbicide use. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023;215:108425.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Aksenov A.G., Trunov M.S., Petukhov S.N. Justification of the concept of creating a robotic complex to increase the efficiency of phytosanitary work in potato seed plantings. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2023;4:96-105. (In Russ.).

2. Dorokhov A. S. et al. Justification of innovative technology for variety and phytocleaning in breeding and seed plantings of potatoes and vegetable crops. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(1):98-111. (In Russ.).

3. Izmailov A. Yu. et al. Theoretical justification of a manipulator for automated removal of plants in seed production. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2025;20(1 (77)):54-62. (In Russ.).

4. Lachuga Yu. F. et al. The results of scientific research of agro-engineering scientific organizations on the development of digital systems in agriculture. *Machinery and equipment for rural area*. 2022;3(297):2-9. (In Russ.).



5. Lobachevsky Ya. P., Dorokhov A. S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021;15(4):6-10. (In Russ.).
6. Milyutkin V. A. Comparative efficiency of innovative units "Tuman" (sprayer and multi-injector) LLC "PEGAS-AGRO" when applying liquid fertilizers CAM. *Don agrarian science bulletin*. 2022;15(3(59):84-95. (In Russ.).
7. Tsench Yu. S. Scientific and technological potential as the main factor for agricultural mechanization development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022;16(2):4-13. (In Russ.).
8. Allmendinger A. [et al.] A Review and a Design of a New CNN-Based Modular Precision Sprayer. *Agronomy*. 2022;12(7):1620.
9. Allmendinger A. [et al.] Agronomic and Technical Evaluation of Herbicide Spot Spraying. *Plants*. 2024;13(15):2164.
10. Gerhards R. [et al.] Advances in site-specific weed management in agriculture. *Weed Research*. 2022;62(2):123-133.
11. Kreuze J. F. et al. Viral Diseases in Potato. The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. *Cham: Springer*. 2020:389-430.
12. Maillot T. [et al.] Site-specific herbicide spraying can control weeds as well as broadcast spraying while reducing herbicide use. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023;215:108425.

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

Трунов Максим Сергеевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия, makstrunov1998@mail.ru
Петухов Сергей Николаевич, канд. с.-х. наук, ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия, petukhov61@bk.ru
Пехнов Сергей Александрович, старший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия, pehnov@mail.ru
Овчинников Алексей Юрьевич, мл. научн. сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия, aleksovchinn@gmail.com

Author Information

Maksim S. Trunov, Junior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia, makstrunov1998@mail.ru
Sergey N. Petukhov, Cand.Sc. (Agriculture), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia petukhov61@bk.ru
Sergey A. Pehnov, Senior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia, pehnov@mail.ru
Aleksey Yu. Ovchinnikov, Junior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia, aleksovchinn@gmail.com

Статья поступила в редакцию 17.07.2026; одобрена после рецензирования 20.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 17.07.2026; approved after reviewing 20.08.2026; accepted for publication 16.09.2026.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 629.017

DOI: 10.36508/RSATU.2026.64.35.022

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ
КОЛЕСНОЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ
НА РАЗЛИЧНЫХ ПОКРЫТИЯХ**

Иван Васильевич Фадеев¹✉, Иван Алексеевич Успенский², Иван Александрович Юхин², Павел Александрович Астахов²

¹ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары, Россия

² ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

✉ ivan-fadeev-2012@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Обеспечение устойчивости движения транспортно-технологических машин в сложных дорожных условиях остается важной задачей, особенно для техники без электронных систем стабилизации, отсутствие которых делает поведение таких машин критически зависимым от состояния опорной поверхности, а резкое изменение сцепных свойств может привести к неконтролируемому заносу или опрокидыванию. Целью исследования является экспериментальная оценка устойчивости автомобиля УАЗ-3741 при экстренном торможении на асфальтовом, грунтовом и снежном покрытиях с использованием доступного измерительного оборудования, что позволяет разработать практические рекомендации для водителей в условиях отсутствия бортовой электроники.

Методология. Проведены натурные эксперименты на трёх типах покрытий: асфальт, грунт, снег. Измеряли тормозной путь (рулетка 50 м), оценивали занос по видеозаписям (смартфон, 60 кадр/с, с последующей покадровой обработкой для определения угловой скорости с погрешностью около 10 %) при скоростях от 20 до 60 км/ч с интервалом 10 км/ч. Начальная скорость контролировалась штатным спидометром. Каждое испытание повторяли 5 раз.

Результаты. Определены следующие средние значения тормозного пути при начальной скорости 40 км/ч: на асфальте – 14,0 м (коэффициент сцепления ~0,7), на грунтовом покрытии – 20,5 м, на снегу – 37,0 м, а также критические скорости, при превышении которых наблюдается потеря устойчивости: на асфальте – 60 км/ч (умеренный занос задней оси), на грунте – 50 км/ч (явный боковой занос), на снегу – 40 км/ч (полный разворот автомобиля с потерей управления). Выявлено, что при увеличении скорости на 10 км/ч на скользких дорогах происходит нелинейный рост тормозного пути и ухудшение стабилизации.

Заключение. Основываясь на полученных данных, разработаны рекомендации по безопасному экстренному торможению на рассмотренных типах дорожного покрытия, с учетом предельно-допустимых скоростей и способов корректировки траектории. Результаты могут использоваться при обучении водителей, работающих в условиях бездорожья или в зимний период.

Ключевые слова: транспортно-технологическая машина; устойчивость движения; экстренное торможение; дорожное покрытие; тормозной путь; эксперимент; УАЗ-3741

Для цитирования Фадеев И.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Астахов П.А. Экспериментальная оценка устойчивости движения колесной транспортно-технологической машины при торможении на различных покрытиях // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, №3, Р.186-192 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.64.35.022>

Original article

**EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE MOTION STABILITY OF A WHEELED TRANSPORT
TECHNOLOGICAL VEHICLE DURING BRAKING ON VARIOUS SURFACES**

Ivan V. Fadeev¹✉, Ivan A. Uspensky², Ivan A. Yukhin², Pavel A. Astakhov²

¹ Chuvash State Pedagogical University, Cheboksary, Russia

© Фадеев И.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Астахов П.А. 2026 г.

**Abstract.**

Problem and purpose. Ensuring the stability of transport and utility vehicles in challenging road conditions remains a critical challenge, especially for vehicles without electronic stability control systems. Their absence makes the performance of such vehicles critically dependent on the condition of the supporting surface, and a sudden change in traction can lead to uncontrolled skidding or rollover. The aim of this study is to experimentally evaluate the stability of the UAZ-3741 vehicle during emergency braking on asphalt, dirt, and snow surfaces using readily available measuring equipment. This will enable the development of practical recommendations for drivers without onboard electronics.

Methodology. Field experiments were conducted on three types of surfaces: asphalt, dirt, and snow. The braking distance was measured (50 m tape measure), and the skid was assessed using video recordings (smartphone, 60 fps, with subsequent frame-by-frame processing to determine the angular velocity with an error of approximately 10%) at speeds from 20 to 60 km/h with an interval of 10 km/h. Initial speed was monitored using the standard speedometer. Each test was repeated five times.

Results. The following average braking distances were determined at an initial speed of 40 km/h: 14.0 m on asphalt (grip coefficient of ~0.7), 20.5 m on unpaved surfaces, and 37.0 m on snow. Critical speeds, exceeding which a loss of stability occurs, were also determined: 60 km/h on asphalt (moderate rear axle skid), 50 km/h on unpaved surfaces (obvious lateral skid), and 40 km/h on snow (complete vehicle rotation with loss of control). It was found that with an increase in speed of 10 km/h on slippery roads, a nonlinear increase in braking distance and a deterioration in stabilization occur.

Conclusion. Based on the obtained data, recommendations were developed for safe emergency braking on the types of road surfaces examined, taking into account maximum permissible speeds and trajectory correction methods. The results can be used in training drivers working off-road or in winter conditions.

Key words: transport and technological vehicle; motion stability; emergency braking; road surface; braking distance; experiment; UAZ-3741

For citation: Fadeev I. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Astakhov P.A. Experimental assessment of the motion stability of a wheeled transport technological vehicle during braking on various surfaces // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P.186-192 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.64.35.022>

Введение

Обеспечение устойчивости движения является одной из важнейших проблем при эксплуатации наземных транспортно-технологических машин (НТТМ). Под устойчивостью понимается способность автомобиля сохранять заданную траекторию движения при внешних воздействиях (ускорениях, боковых силах, неровностях дороги) (ГОСТ Р 52302-2004. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования и методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 2005. – 27 с.). Нарушение устойчивости, особенно при торможении, может привести к заносу, складыванию автопоезда или опрокидыванию машины [1; 2].

Особую актуальность эта проблема приобретает для транспортно-технологических машин, эксплуатируемых в сложных дорожных условиях: на строительных площадках, в сельском хозяйстве, на бездорожье, в зимнее время. Такие машины часто не имеют современных электронных систем стабилизации (ESP, ABS), и их устойчивость целиком зависит от мастерства водителя и понимания особенностей поведения автомобиля на разных покрытиях [3; 4].

В отличие от дорогостоящих сертифицированных испытаний на специализированных полигонах, существует возможность проведения доступных экспериментов, которые позволяют получить наглядные и практически важные результаты [5, 6]. Такой подход особенно ценен для студентов,

курсантов автошкол, водителей-практиков, а также для начального этапа научных исследований.

Цель настоящей работы – проведение доступных экспериментальных исследований устойчивости транспортно-технологической машины при экстренном торможении на различных типах дорожного покрытия и разработка на основе полученных данных практических рекомендаций для водителей.

Задачи исследования:

1. Разработать простую и доступную методику проведения эксперимента по оценке устойчивости автомобиля при торможении.
2. Провести серию экспериментов на асфальтовом, грунтовом и снежном покрытиях.
3. Сравнить полученные результаты и выявить закономерности.
4. Сформулировать практические рекомендации для водителей.

Материалы и методы исследования**Объект исследования**

В качестве объекта исследования выбран автомобиль УАЗ-3741 «Фермер», основные технические характеристики которого приведены в таблице 1.

Выбор этого автомобиля обусловлен следующими причинами:

– это типичный представитель транспортно-технологических машин, широко используемый в сельском хозяйстве, строительстве, коммунальном хозяйстве;



– автомобиль имеет высокий центр масс (около 1,1 м), что характерно для многих НТТМ;

– автомобиль не оснащен ABS и ESP, что позволяет оценить «чистую» динамику торможения.

Предметом исследования является процесс экстренного торможения автомобиля УАЗ 3741 на

различных дорожных покрытиях (асфальт, грунт, снег), а именно: зависимость тормозного пути от начальной скорости, характер изменения устойчивости (появление и развитие заноса) и критические скорости, при которых теряется управляемость.

Таблица 1 – Характеристики автомобиля УАЗ-3741

Параметр	Значение
Снаряженная масса, кг	1780
Полная масса, кг	2780
Колесная формула	4×4
Двигатель	ЗМЗ-4091, 2,7 л, 112 л.с.
Привод	подключаемый полный
Тормозная система	гидравлическая, барабанные механизмы

Примечание: испытания проводились на автомобиле в стандартной заводской комплектации (без лебедки, дополнительных топливных баков и внешнего силового оборудования). Снаряженная масса соответствовала паспортным данным и была подтверждена взвешиванием на автомобильных весах перед началом экспериментов (погрешность взвешивания ± 20 кг). В кабине находился только водитель (масса 80 кг), груз в салоне и багажнике отсутствовал.

Условия проведения экспериментов

Эксперименты проводились в сентябре-октябре 2024 года и в феврале 2025 года в окрестностях города Чебоксары.

Площадки проведения экспериментов:

1. Асфальтовое покрытие – участок дороги с сухим, чистым асфальтом (коэффициент сцепления $\approx 0,7$). Погодные условия: температура воздуха $+12^\circ\text{C}$, без осадков.

2. Грунтовое покрытие – ровный участок грунтовой дороги с твердым покрытием (сухая укатанная грунтовка, коэффициент сцепления $\approx 0,5$). Погодные условия: температура $+10^\circ$, без осадков.

3. Снежное покрытие – ровный участок дороги с укатанным снегом (коэффициент сцепления $\approx 0,2-0,25$). Погодные условия: температура -8°C , снег выпал за 2 дня до эксперимента.

На каждом участке была размечена прямая полоса длиной 100 м и шириной 4 м. Разметка производилась с помощью мела (на асфальте) и вешек-стоек (на грунте и снегу).

Методика проведения эксперимента

Каждая серия экспериментов включала следующие этапы:

Этап 1. Подготовка

- выбор и разметка участка дороги;
- проверка технического состояния автомобиля (особенно тормозной системы);
- установка штатива со смартфоном для видеозаписи (сбоку от полосы движения);
- фиксация погодных условий.

Этап 2. Проведение заездов

Для каждого типа покрытия выполнялось по 5 заездов на каждой из скоростей движения автомобиля (20, 30, 40, 50, 60 км/ч). Перед каждым заездом автомобиль разгонялся до заданной скорости (контроль по спидометру). В момент пересечения линии «старт» передним бампером водитель резко нажимал на педаль тормоза до упора и удерживал её до полной остановки. Остановка фиксировалась по переднему бамперу на линии «стоп».

Этап 3. Измерения

– тормозной путь измерялся рулеткой от линии «старт» до линии «стоп»;

– по видеозаписи оценивалась траектория движения (наличие заноса, величина бокового отклонения);

– фиксировались особые события (разворот, выезд за пределы полосы, блокировка колес).

Этап 4. Обработка результатов

Для каждой скорости на каждом покрытии вычислялось среднее арифметическое тормозного пути по 5 заездам. Заносы оценивались по шкале:

0 баллов – автомобиль сохранил прямолинейную траекторию;

1 балл – незначительное отклонение (до 0,5 м от оси);

2 балла – заметный занос (отклонение 0,5-1,5 м);

3 балла – критический занос (отклонение более 1,5 м или разворот).

Оборудование и измерительные средства

Для проведения экспериментов использовалось доступное оборудование, представленное в таблице 2.

Перед проведением экспериментов были приняты следующие меры безопасности:

– участки дорог были перекрыты для постороннего транспорта;

– в автомобиле находился только водитель, пристегнутый ремнем безопасности;

– скорость увеличивалась постепенно, начиная с 20 км/ч;

– в непосредственной близости от места эксперимента отсутствовали препятствия (деревья, столбы, кюветы);

– при первых признаках неуправляемого заноса эксперимент на данной скорости прекращался.



Таблица 2 – Используемое оборудование

Наименование	Назначение	Точность
Рулетка металлическая 50 м	Измерение тормозного пути	± 1 см
Мел или краска в баллончике	Нанесение разметки	–
Вешки-стойки (8 шт.)	Ограничение коридора	–
Смартфон (запись видео 60 fps)	Фиксация траектории и заноса	$\pm 0,016$ с
Динамометр бытовой	Контроль усилия на педали тормоза	± 5 Н
Термометр наружный	Контроль погодных условий	$\pm 1^\circ$ C
Штатив для смартфона	Стабилизация видеозаписи	–

Для Фиксации траектории и заноса использовали смартфон Xiaomi Redmi Note 11 Pro (камера 108 Мп, режим замедленной съемки 120 кадр/с, использовался режим 60 кадр/с для баланса между детализацией и длительностью записи). Погрешность измерения времени по видеокадрам составляет $\pm 1/60 \approx \pm 0,017$ с. Угловая скорость заноса определялась по изменению угла между продольной осью автомобиля и разметкой коридора на последовательных кадрах; погрешность изме-

рения угла по видеозаписи с учетом разрешения экрана и масштаба составила $\pm 2^\circ$, что при длительности заноса около 1 с дает относительную погрешность угловой скорости не более 8-10 %.

Результаты исследований и их обсуждение

Тормозной путь на разных дорожных покрытиях

Результаты измерений тормозного пути представлены в таблице 3 и на рисунке 1.

Таблица 3 – Тормозной путь автомобиля УАЗ-3741 на разных дорожных покрытиях, м

Скорость, км/ч	Асфальт (сухой)	Грунт (укатанный)	Снег (укатанный)
20	4,2	5,8	9,5
30	8,5	12,0	21,0
40	14,0	20,5	37,0
50	21,0	31,0	58,0
60	30,0	47,0	разворот*

Примечание: при скорости 60 км/ч на снегу автомобиль развернуло, измерить тормозной путь не представилось возможным.

Анализ таблицы 3 и рисунка показывает:

– на асфальте тормозной путь растет примерно пропорционально квадрату скорости (как и видно из

теоретической формулы его определения $S = \frac{v^2}{2g\varphi}$);

– на грунте тормозной путь в 1,4-1,6 раза больше, чем на асфальте;

– на снегу тормозной путь в 2,2-2,8 раза больше, чем на асфальте.

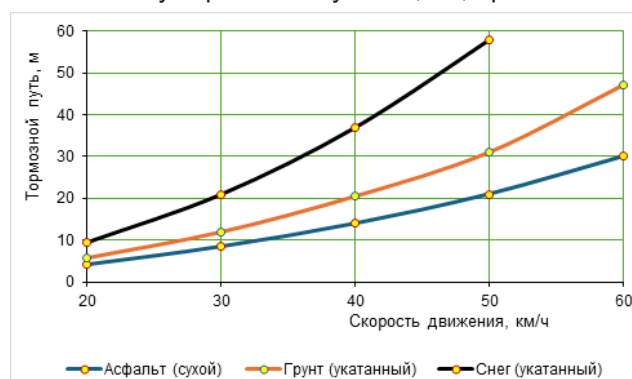


Рис. – Зависимость тормозного пути автомобиля УАЗ-3741 от скорости движения на разных дорожных покрытиях
Fig. – Dependence of the braking distance of UAZ-3741 on the driving speed on different road surfaces

Оценка устойчивости (заносы)

Результаты оценки заносов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка устойчивости при торможении (баллы заноса)

Скорость, км/ч	Асфальт	Грунт	Снег
20	0	0	0
30	0	1	1
40	0	1	2



50	1	2	3
60	1	3	3 (разворот)

В экспериментах наблюдались следующие наиболее важные эффекты:

– эффект блокировки колес. На всех покрытиях, кроме асфальта, при резком торможении происходила ранняя блокировка колес. На грунте при скорости выше 40 км/ч блокировались все четыре колеса, и автомобиль начинал скользить «юзом». Наиболее опасным оказалась блокировка передних колес – при этом автомобиль полностью терял управляемость;

– занос задней оси. На грунте и снегу при торможении на скоростях выше 40 км/ч происходил занос задней оси. Водителю требовалось вращать руль в сторону заноса для стабилизации («выворачивать руль в сторону заноса»). На снегу при скорости 50 км/ч занос был настолько сильным, что автомобиль развернуло почти на 90 градусов;

– крен кузова. При резком торможении на всех покрытиях наблюдался крен кузова вперед из-за перераспределения массы автомобиля. Наибольший крен (визуально около 8-10°) фиксировался на асфальте при торможении на скорости 60 км/ч.

Результаты видеонаблюдения

Обработка видеозаписей (60 кадров/с на смартфоне) позволила установить:

– время от начала торможения до начала заноса на снегу при 40 км/ч составило 0,8 секунды;

– характер заноса – вращательный (автомобиль начинал разворачиваться вокруг вертикальной оси) с угловой скоростью около 25°/с на снегу при 50 км/ч;

– на асфальтовом покрытии при торможении с 60 км/ч автомобиль сохранял прямолинейное движение, несмотря на блокировку передних колес.

Обсуждение

Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с известными физическими закономерностями. Тормозной путь (S) определяется формулой [7; 8]:

$$S = \frac{V^2}{2g\varphi} + t_{\text{реакции}} \cdot V,$$

где V – скорость движения автомобиля, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

φ – коэффициент сцепления;

$t_{\text{реакции}}$ – время реакции водителя и срабатывания тормозов, с (в нашем эксперименте оно было минимизировано за счет предварительной готовности).

Экспериментально полученное отношение тормозных путей на разных покрытиях при скорости 40 км/ч:

$$\frac{S_{\text{асфальт}}}{S_{\text{грунт}}} = \frac{14,0}{20,5} \approx 0,68,$$

$$\frac{S_{\text{асфальт}}}{S_{\text{снег}}} = \frac{14,0}{37,0} \approx 0,38.$$

Теоретически, если бы тормозные системы работали одинаково (без блокировки и с идеальным распределением усилий), отношение должно было бы быть обратно пропорционально коэффициенту сцепления [9; 10]:

$$\frac{S_{\text{асфальт}}}{S_{\text{грунт}}} = \frac{\varphi_{\text{грунт}}}{\varphi_{\text{асфальт}}} = \frac{0,5}{0,7} = 0,71,$$

$$\frac{S_{\text{асфальт}}}{S_{\text{снег}}} = \frac{\varphi_{\text{снег}}}{\varphi_{\text{асфальт}}} = \frac{0,2}{0,7} = 0,29.$$

Расхождение с теорией для грунта составляет 0,68 вместо 0,71 (отклонение 4 %), для снега – 0,38 вместо 0,29 (отклонение 31 %), что согласуется с результатами работы [11,12]. Это расхождение объясняется блокировкой колес на снегу, что снижает эффективность торможения по сравнению с идеальным случаем.

На основании проведенных экспериментов можно сформулировать следующие практические рекомендации для водителей.

– При торможении на скользком покрытии (снег, лед, мокрая грунтовка) нельзя резко нажимать на педаль тормоза. Лучше использовать прерывистое торможение («качание» педали), которое предотвращает блокировку колес и сохраняет управляемость.

– Безопасная скорость на грунтовой дороге (для автомобиля типа УАЗ) для выполнения экстренного торможения без потери устойчивости – не более 40 км/ч.

– На снежном покрытии безопасная скорость для экстренного торможения без риска заноса – не более 30 км/ч.

– При возникновении заноса необходимо повернуть руль в сторону заноса («выворачивать руль туда, куда уходит задняя ось») и не отпускать педаль тормоза полностью, но снизить усилие для восстановления сцепления.

Важно помнить, что у автомобилей с высоким центром масс при резком торможении происходит крен кузова вперед, разгружающий заднюю ось и способствующий заносу автомобиля. Для предотвращения блокировки колес и сохранения управляемости автомобиля при этом рекомендуется применять прерывистое торможение: резко нажать на педаль, а при первых признаках заноса полностью отпустить её, затем снова нажать и повторять циклы до полной остановки.

Ограничения и возможные ошибки эксперимента

Следует признать, что проведенный эксперимент не лишен ограничений.

1. Субъективность оценки заноса – балльная система является условной.

2. Погрешность измерения скорости – использовался штатный спидометр, погрешность которо-



го может достигать 5-7 %.

3. Невозможность полного контроля внешних условий – ветер, неровности дороги, изменение сцепных свойств покрытия в процессе эксперимента.

4. Влияние водителя – хотя заезды выполнял один водитель, человеческий фактор полностью исключить нельзя.

Однако для целей наглядной демонстрации физических закономерностей и выработки практических рекомендаций точность эксперимента является достаточной.

Заключение

1. Экспериментально подтверждено, что тормозной путь существенно зависит от типа дорожного покрытия. При скорости 40 км/ч тормозной путь составил: на асфальте – 14,0 м, на грунте – 20,5 м, на снегу – 37,0 м, доказывающий, что на снегу тормозной путь почти в 2,7 раза больше, чем на асфальте.

2. Установлены значения критических скоростей, при превышении которых автомобиль теряет устойчивость (появляется неконтролируемый занос):

на грунтовом покрытии – 50 км/ч;

на снежном покрытии – 40 км/ч;

на асфальтовом покрытии – 60 км/ч (занос начинается, но носит контролируемый характер).

3. Выявлена прямая связь между блокировкой колес и потерей устойчивости. На скользких покрытиях блокировка происходит значительно раньше, что приводит к ухудшению управляемости и увеличению тормозного пути по сравнению с теоретическими расчетами.

4. На основе экспериментальных данных предложены практические рекомендации для водителей транспортно-технологических машин по безопасному торможению на различных покрытиях. Рекомендации могут быть использованы в учебном процессе при подготовке водителей спецтехники.

Перспективы дальнейших исследований включают:

– проведение аналогичных экспериментов с другими типами НТТМ (колесные тракторы, погрузчики, автобетоносмесители);

– изучение эффективности прерывистого торможения по сравнению с непрерывным торможением с максимальным усилием.

Список источников

1. Солнцев А. А., Асоян А. Р., Курипка А. В. Анализ результатов проведения испытаний фрикционных тормозных накладок автомобиля категории N1. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2023;1(72):83-87.

2. Шемякин А. В. и др. Анализ причин возникновения дорожно-транспортных происшествий и ме-

роприятия по устранению мест их концентрации в г. Тольятти. *Транспортное дело России*. 2023;5:102-106. DOI 10.52375/207228689_2023_5_102.

3. Федотов А. И., Портнягин Е.М., Доморозов А. Н. Стенд и метод контроля процесса торможения автомобиля с АБС. *Автомобильная промышленность*. 2009;11:28-31.

4. Фадеев И. В., Садетдинов Ш. В. Повышение коррозионной стойкости стали 10. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2015;2(41):107-114.

5. Федотов А. И., Бойко А. В., Потапов А. С. О повторяемости измерений параметров процесса торможения автомобиля на стенде с беговыми барабанами. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2008;1(33):63-71.

6. Бышов Н. В. и др. Разработка нового средства для защиты сельскохозяйственных машин при хранении. *Техника и оборудование для села*. 2019;6(264):38-42. DOI 10.33267/2072-9642-2019-6-38-42.

7. Шкаленко А. И., Чернышев Д. О. Требования к техническому состоянию рабочей тормозной системы автомобилей. *Техника и технология транспорта*. 2020;2(17):3. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N17-03EM220.pdf>

8. Фадеев И. В. и др. Повышение эффективности технологии нанесения противокоррозионного состава при постановке сельскохозяйственных машин на хранение. *Техника и оборудование для села*. 2022;1(295):39-42. DOI 10.33267/2072-9642-2022-1-39-42.

9. Фадеев И. В. Парк автомобилей как определяющий фактор развития системы автосервиса. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2022;14(1):159-167. DOI 10.36508/RSATU.2022.89.86.018.

10. Фадеев И. В. и др. Разработка композиции технологической жидкости для увеличения долговечности деталей и узлов транспортных средств. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2017;3(50):90-97.

11. Ременцов А.Н., Фадеев И.В. Установление периодичности противокоррозионной обработки кузовов легковых автомобилей. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2010;2(21):15-17

12. Успенский И. А. и др. Присадка к средствам для мойки деталей автотракторной техники. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2020;4(60): 414-425. DOI 10.32786/2071-9485-2020-04-39.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References



1. Solntsev A. A., Asoyan A. R., Kuripka A. V. About testing of friction brake linings of a car of category N1. *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) Bulletin*. 2023;1(72):83-87. (in Russ.).
 2. Shemyakin A. V. et al. Analysis of the causes of road accidents and measures to eliminate the places of their concentration in Togliatti. *Transport Business of Russia*. 2023;5;102-106. (in Russ.). DOI 10.52375/20728689_2023_5_102.
 3. Fedotov A. I., Portnyagin E. M., Domorozov A. N. Stand and method of control of braking process of automobile with ABS. *Automotive industry (Avtomobil'naya promyshlennost')*. 2009;11:28-31. (in Russ.).
 4. Fadeev I. V., Sadetdinov Sh. V. Improvement of corrosion resistance of steel 10. *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) Bulletin*. 2015;2(41):107-114. (in Russ.).
 5. Fedotov A. I., Boyko A. V., Potapov A. S. On the repeatability of measurements of the parameters of the braking process of a car on a rig with runner drums (O povtoryaemosti izmerenij parametrov protsessa tormozheniya avtomobilya na stende s begovymi barabanami). *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2008;1(33):63-71. (in Russ.).
 6. Byshov N. V. et al. Development of new means to protect agricultural machinery during the storage. *Machinery and equipment for rural areas*. 2019;6(264):38-42. (in Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2019-6-38-42.
 7. Shkalenko A. I., Chernyshev D. O. Technical requirements of the service brake car system. *Technique and technology of transport*. 2020;2(17):3. (in Russ.). URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N17-03EM220.pdf>
 8. Fadeev I. V. et al. Increasing the efficiency of anti-corrosion application technology when delivering agricultural machines for storage. *Machinery and equipment for rural areas*. 2022;1 (295):39-42. (in Russ.). DOI 10.33267/2072-9642-2022-1-39-42.
 9. Fadeev I. V. Car Park as a definitive factor development of car service system. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2022;14(1):159-167. (in Russ.). DOI 10.36508/RSATU.2022.89.86.018.
 10. Fadeev I. V. et al. Development of the composition of the process fluid to increase the durability of parts and components of vehicles. *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) Bulletin*. 2017;3(50):90-97. (in Russ.).
 11. Rementsov A. N., Fadeev I. V. Establishment of periodic anticorrosive treatment of the body pan. *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) Bulletin*. 2010;2(21):15-17. (in Russ.).
 12. Uspensky I. A. et al. Additive to detergents for cleaning parts of automotive and tractor equipment. *News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2020; 4 (60): 414–425. DOI 10.32786/2071-9485-2020-04-39
- 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

Фадеев Иван Васильевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технических дисциплин, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары, Россия ivan-fadeev-2012@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации автотракторной техники, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия ivan.uspenskij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации автотракторной техники, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия yuival@rambler.ru

Астахов Павел Александрович, студент, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия yoshihamura@mail.ru

Authors Information

Ivan V. Fadeev, D.Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department of Technical Disciplines, Chuvash State Pedagogical University, Cheboksary, Russia ivan-fadeev-2012@mail.ru

Ivan A. Uspensky, D.Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technical Operation of Automotive and Tractor Equipment, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia ivan.uspenskij@yandex.ru

Ivan A. Yuhin, D.Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department of Technical Operation of Automotive and Tractor Equipment, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia yuival@rambler.ru

Pavel A. Astakhov, student, Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia yoshihamura@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.06.2026; одобрена после рецензирования 17.07.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 24.06.2026; approved after reviewing 17.07.2026; accepted for publication 16.09.2026



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.372
DOI: 10.36508/RSATU.2026.65.47.023

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ В ПОЧВУ
СЕЛЕКЦИОННОЙ СЕЯЛКОЙ «СС-11»

Сергей Васильевич Щитов¹✉, Зоя Федоровна Кривуца¹, Сергей Николаевич Воякин¹, Елена Сергеевна Поликутина¹, Виктория Андреевна Щитова¹

¹ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет, г. Благовещенск, Россия

✉ shitov.sv1955@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В статье обосновывается необходимость создания адаптивных и экономически доступных методов модернизации существующего парка отечественной сельхозтехники. Авторы отмечают, что даже в границах одного опытного участка почвенное плодородие существенно варьируется по содержанию гумуса, подвижных форм азота, фосфора и калия. При этом традиционные подходы к внесению минеральных удобрений не предусматривают автоматической корректировки норм внесения с учётом пестроты плодородия в пределах поля. Работа посвящена повышению эффективности селекционной сеялки «СС-11» путем оптимизации дозирования минеральных удобрений. В рамках исследования предлагается модернизация привода штатного вариатора на базе шагового двигателя, предусматривающая сохранение ручного дублирующего управления и исходной кинематики агрегата. Разрабатывается аппаратно-программный комплекс, интегрирующий данные спутникового позиционирования с цифровыми картами плодородия для реализации режима дифференцированного внесения удобрений в реальном времени.

Методология. При проведении производственных испытаний за основу были взяты рекомендации ГОСТ 24432-83 «Удобрения. Термины и определения», ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний», ГОСТ 58658-2019 «Удобрения минеральные. Общие технические требования», ГОСТ 24059-80-2017 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки». Для оптимизации нормы внесения минерального удобрения с учетом состояния плодородия отдельных участков поля разработано устройство «Автоматический корректор-регулятор высевающего аппарата».

Результаты. Разработан аппаратно-программный комплекс автоматизированного управления механическим вариатором селекционной сеялки «СС-11», состоящий из одноплатного компьютера Raspberry Pi 5, навигационного модуля L76K, промышленного драйвера шагового двигателя DM556, схемы согласования логических уровней на транзисторах 2N2222 и алгоритмического обеспечения на языке Python. Предложено техническое решение по автоматизации привода штатного механического вариатора сеялки с использованием шагового двигателя с сохранением при необходимости возможности ручного дублирующего управления и базовой кинематической схемы машины.

Заключение. По результатам проверки обоснована целесообразность автоматизации привода механического вариатора сеялки с помощью шагового двигателя при сохранении ручного управления. Для модели «СС-11» разработан комплекс на базе Raspberry Pi 5 и навигационного модуля L76K, обеспечивающий дифференцированный высеv согласно цифровым картам почвы, что позволяет обеспечить высокую точность регулирования нормы высева в зависимости от почвенного плодородия.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, сеялка, норма внесения, минеральные удобрения, поле, плодородие почвы

Для цитирования: Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Воякин С.Н., Поликутина Е.С., Щитова В.А. Повышение эффективности внесения минерального удобрения в почву селекционной сеялкой «СС-11» // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева 2026, Т.18, № 3, С 193-199 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.65.47.023>

Original article

INCREASING THE EFFICIENCY OF APPLYING MINERAL FERTILIZERS TO THE SOIL
WITH THE «SS-11» SELECTION SEEDER

Sergey V. Shchitov¹✉, Zoya F. Krivutsa¹, Sergey N. Voyakin¹, Elena S. Polikutina¹, Viktoria A. Shchitova¹



¹ Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia

✉ shitov.sv1955@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. This article substantiates the need to develop adaptive and affordable methods for modernizing the existing fleet of domestic agricultural machinery. The authors note that even within a single experimental plot soil fertility varies significantly in terms of humus content, mobile nitrogen, phosphorus and potassium. Furthermore, traditional approaches to mineral fertilizer application do not provide for automatic adjustment of application rates to account for fertility variability within a field. This study focuses on increasing the efficiency of the «SS-11» seed drill by optimizing the dosing of mineral fertilizers. The study proposes upgrading the standard variator drive using a stepper motor, preserving manual backup control and the original kinematics of the unit. A hardware and software system that integrates satellite positioning data with digital fertility maps to implement a differentiated fertilizer application mode in real time is being developed.

Methodology. The conducted production tests were based on the recommendations of GOST 24432-83 "Fertilizers. Terms and Definitions," GOST 7057-2001 "Agricultural Tractors. Test Methods," GOST 58658-2019 "Mineral Fertilizers. General Technical Requirements," and GOST 24059-80-2017 "Agricultural Machinery. Methods of Operational and Technological Evaluation." To optimize the application rate of mineral fertilizers, taking into account the fertility status of individual field sections, the "Automatic Seeding Unit Corrector-Regulator" device was developed.

Results. A hardware and software system for automated control of the mechanical variator of the «SS-11» seed drill has been developed. It consists of a Raspberry Pi 5 single-board computer, an L76K navigation module, a DM556 industrial stepper motor driver, a 2N2222 logic level matching circuit, and Python-based algorithms. A technical solution is proposed for automating the seeder's standard mechanical variator drive using a stepper motor while maintaining manual backup control and the basic kinematic diagram of the machine.

Conclusion. Based on the testing results, the feasibility of automating the seeder's mechanical variator drive using a stepper motor while maintaining manual control was substantiated. A system based on the Raspberry Pi 5 and L76K navigation module was developed for the «SS-11» model. It provides differentiated seeding based on digital soil maps, enabling highly accurate seeding rate control depending on soil fertility.

Key words: hardware and software complex, seeder, application rate, mineral fertilizers, field, soil fertility

For citation: Shchitov S.V., Krivutsa Z.F., Voyakin S.N., Polikutina E.S., Shchitova V.A. Increasing the efficiency of applying mineral fertilizers to the soil with the «SS-11» selection seeder // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, T.18, No. 3, P.193-199 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.65.47.023>

Введение

Основной и наиболее значимой задачей, стоящей перед сельхозтоваропроизводителями, является повышение эффективности производства возделываемой сельскохозяйственной культуры. Одним из основных факторов, влияющих на вышеобозначенную задачу, является плодородие почвы, которое, в свою очередь, также зависит от многих факторов [1-3]. Рациональное использование минеральных удобрений способствует улучшению роста зелёной массы возделываемой культуры и фотосинтезу, укреплению корневой системы, ускорению цветения и плодоношения. Также важны защита от эрозии и организационно-хозяйственные мероприятия (лесомелиоративные и гидротехнические мероприятия). Поддержание биологической активности (мульчирование, сбалансированное применение минеральных удобрений, оптимизация водного режима, контроль кислотности, соблюдение севооборота, минимизация обработки почвы, использование микробиологических препаратов).

При этом необходимо не забывать об особенностях региона, в котором возделывается та или иная культура. В Амурской области основной сельскохозяйственной культурой является соя [4, 5]. Этому способствует ряд факторов, таких как

наличие рынков сбыта (граница с КНР) и природно-климатические условия. Под данной культурой заняты основные посевные площади, и в ряде хозяйств практически не соблюдается севооборот, что приводит к снижению плодородия почвы.

В связи с этим для поддержания плодородия почвы в хозяйствах применяют минеральные удобрения, чаще всего комплексные. Использование данных комплексных минеральных удобрений имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Положительные стороны: сбалансированное питание возделываемой культуры, экономия времени и снижение трудозатрат. В качестве отрицательной стороны можно отметить невозможность сбалансировать необходимые макроэлементы, такие как азот, калий и фосфор, риск закисления почвы и особенности хранения [6-8]. В то же время необходимо отметить и такой фактор, как неоднородность плодородия почвы по ряду причин по всему полю, что вызывает необходимость дифференцированного внесения удобрений с целью выравнивания плодородия почвы на всей площади, на которой возделывается сельскохозяйственная культура. Это ставит определённые задачи перед средствами механизации, используемыми для внесения минеральных удобрений в почву, в вопросе равномерности распределения



макроэлементов (азота, калия и фосфора) [9, 10].

Цель исследования – повышение эффективности использования селекционной сеялки «СС-11» за счёт оптимизации нормы внесения минеральных удобрений.

Задачи:

1. Предложить техническое решение по автоматизации привода штатного механического вариатора сеялки с использованием шагового двигателя с сохранением при необходимости возможности ручного дублирующего управления и базовой кинематической схемы машины.

2. Разработать аппаратно-программный комплекс автоматизированного управления механическим вариатором селекционной сеялки «СС-11», объединяющий данные спутниковой навигации и цифровые карты плодородия почвы для автоматизации режима дифференцированного внесения в реальном времени.

Материал и методы исследований

Для выполнения поставленной цели на основании проведенного обзора существующих способов автоматизации механизмов привода высевальных аппаратов сеялок было разработано и апробировано устройство «Автоматический корректор-регулятор высевального аппарата селекционной сеялки» [11]. Принципиальные схемы автоматического корректора-регулятора высевального аппарата селекционной сеялки «СС-11» отображены на рисунках 1 и 2, основные конструктивные элементы и общий вид селекционной сеялки представлены на рисунках 3-9.

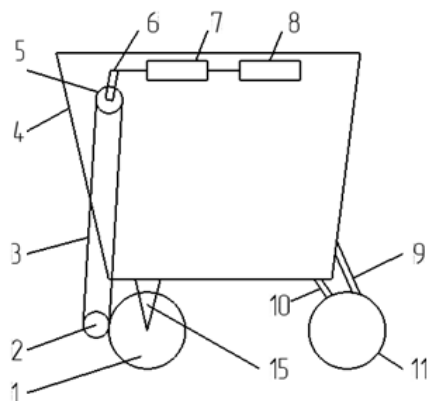


Рис. 1 – Общая принципиальная схема модернизированной сеялки «СС-11»

1 – колесо опорно-приводное; 2 – приводной ролик; 3 – передача цепная; 4 – бункер сеялки; 5 – вариатор; 6 – рукоятка-корректор ручного управления нормой внесения удобрений (рис. 3); 7 – редуктор управления (рис. 4); 8 – электродвигатель шаговый; 9 – семяпровод; 10 – поводок для крепления сошника к раме сеялки; 11 – сошник (двухдисковый)

Fig. 1 – General schematic diagram of the modernized “SS-11” seeder

1-support-drive wheel; 2-drive roller; 3-chain transmission; 4-seeder hopper; 5-variator; 6-handle-corrector for manual control of the fertilizer application rate (Fig. 3); 7-control gearbox (Fig. 4); 8-stepper electric motor; 9-seed tube; 10-drive for attaching the coulter to the seeder frame; 11-coulter (double-disc)

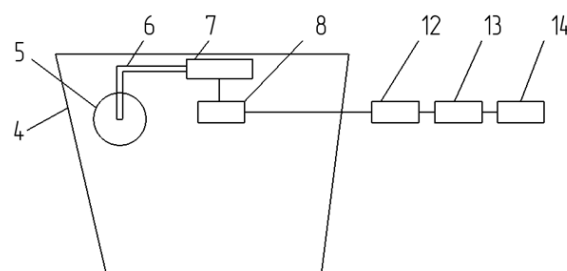


Рис. 2 – Принципиальная схема автоматического управления нормой внесения минерального удобрения

4 – бункер сеялки; 5 – вариатор; 6 – рукоятка-корректор ручного управления нормой внесения минерального удобрения; 7 – редуктор управления; 8 – электродвигатель шаговый (рис. 5); 12 – микроконтроллер; 13 – драйвер (рис. 6); 14 – компьютер бортовой (рис. 7).

Fig. 2 – Schematic diagram of the automatic control system for the application rate of mineral fertilizers

g4 – seed drill hopper; 5 – variator; 6 – manual control handle-corrector for the rate of mineral fertilizer application; 7 – control gearbox; 8 – stepper motor (Fig. 5); 12 – microcontroller; 13 – driver (Fig. 6); 14 – onboard computer (Fig. 7).



Рис. 3 – Рукоятка-корректор ручного управления нормой внесения минерального удобрения
Fig. 3 – Handle-corrector for manual control of the application rate of mineral fertilizer

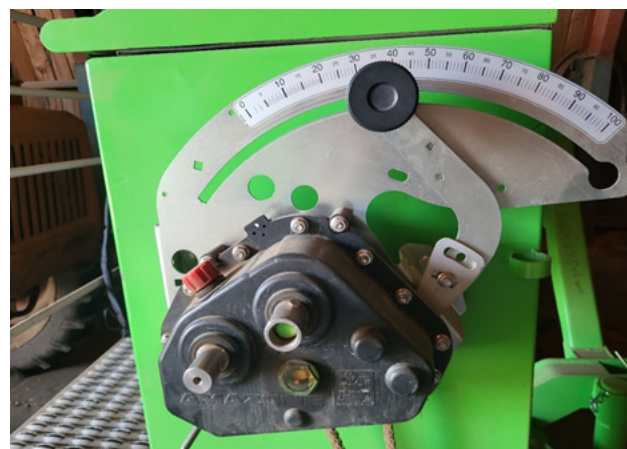


Рис. 4 – Редуктор
Fig. 4 – Gearbox

Общий принцип работы предлагаемого устройства для автоматического регулирования нормы



Рис. 5 – Электродвигатель шаговый
Fig. 5 – Stepper motor



Рис. 6 – Драйвер шагового двигателя
Fig. 6 – Stepper motor driver



Рис. 7 – Компьютер бортовой
Fig. 7 – On-board compute

внесения минерального удобрения в почву заключается в том, что рукоятка-корректор ручного управления нормой внесения минерального удобрения (рис. 3) связана со шкивом, закрепленным на валу шагового электродвигателя посредством тросика. Шаговый электродвигатель управляется микроконтроллером (12) через драйвер (рис. 6) и бортовой компьютер (рис. 7). В процессе работы от бортового компьютера, в котором заложена программа, составленная на основании конкретной карты поля (рис. 10) с указанным на ней уровнем плодородия почвы, подается сигнал через микроконтроллер (12) на драйвер шагового двигателя, в котором низковольтные логические импульсы (сигналы) подаются на шаговый электродвигатель. При этом шаговый электродвигатель преобразует поступающие сигналы в дискретные угловые перемещения ротора электродвигателя, который через шкив и тросик (рис. 8) перемещает рукоятку-корректор ручного управления нормой внесения минерального удобрения (рис. 3).



Рис. 8 – Привод рукоятки-корректора ручного управления нормой внесения минерального удобрений
Fig. 8 – Drive of the handle - manual control of the rate of application of mineral fertilizers

Производственная проверка предлагаемой модернизированной селекционной сеялки «СС-11» (рис. 9) проведена на поле отдела семеноводства ФГБОУ ВО Дальневосточного государственного аграрного университета. При этом была предварительно составлена карта поля (рис. 10). При проведении производственной проверки работоспособ-

ности предлагаемой модернизированной сеялки «СС-11» (рис. 9) учитывались рекомендации ГОСТ Р 70229-2022 «Почвы. Показатели качества», что позволяет учитывать требования ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву».



Рис. 9 – Общий вид модернизированной селекционной сеялки «СС-11»
Fig. 9 – General view of the modernized selection seeder "SS-11"

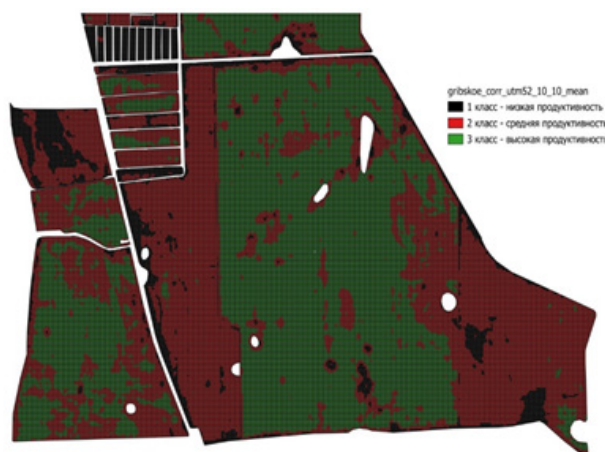


Рис. 10 – Карта поля отдела семеноводства ФГБОУ ВО Дальневосточного государственного аграрного университета
Fig. 10 – Field map of the seed production department of the Far Eastern State Agrarian University

Результаты исследований
Для перемещения рукоятки-корректора руч-



ного управления нормой внесения минерального удобрения сеялки «СС-11» (рис. 8) был рассчитан требуемый (необходимый) крутящий момент

$$M_{var} = F_{res} \cdot L, \quad (1)$$

где F_{res} – сила сопротивления перемещению (по данным заводских испытаний «СС-11»), $F_{res}=15$ Н; L – плечо приложения силы, м. или

$$M_{var} = 15 \cdot 0,12 = 1,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

С учётом коэффициента запаса $k_{safety} = 1,5$ и КПД планетарного редуктора $\eta_{gear} = 0,9$, требуемый момент на валу двигателя:

$$M_{motor} = \frac{(M_{var} \cdot k_{safety})}{i_{gear} \cdot \eta_{gear}}, \quad (2)$$

где M_{motor} – требуемый момент двигателя, Н·м;
 i_{gear} – передаточное число редуктора.

При принятом передаточном числе $i_{gear} = 5$:
 $M_{motor} = ((1,8 \cdot 1,5)) / ((5 \cdot 0,9)) = 0,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

$$M_{motor} = \frac{(1,8 \cdot 1,5)}{(5 \cdot 0,9)} = 0,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Двигатель NEMA 24 с удерживающим моментом 2,8-3,2 Н·м обеспечивает четырёхкратный запас по крутящему моменту, что гарантирует надёжное перемещение рукоятки даже при максимальном износе вариатора и низких температурах.

В качестве промышленного драйвера выбран Leadshine DM556. В отличие от учебных микросхем L297/L298, применявшихся на этапе моделирования в Proteus, DM556 обладает совместимостью с бортовой сетью трактора. Диапазон 12-50 В позволяет подключать драйвер напрямую к сети трактора без дополнительных преобразователей.

Для обеспечения требуемой точности регулировки нормы высева выполнен кинематический расчёт системы «двигатель – редуктор – вариатор»:

а) расчёт количества микрошагов на полный оборот вала двигателя

$$N_{rev} = \frac{360^\circ}{(\theta_{step} \cdot m)}, \quad (3)$$

где N_{rev} – количество микрошагов на один оборот вала двигателя;

θ_{step} – угол полного шага, град;

m – коэффициент микрошага;

б) расчёт общего количества микрошагов для полного диапазона регулировки

$$N_{total} = \left(\frac{\Delta\alpha}{360^\circ} \right) \cdot N_{rev} \cdot i_{gear},$$

где N_{total} – общее количество микрошагов для перемещения рукоятки на угол $\Delta\alpha$;

в) расчёт максимальной частоты управляющих импульсов.

Для обеспечения плавного перемещения рукоятки за время $t_{move} = 0,5$ с при полном диапазо-

не регулировки

$$f_{max} = \frac{N_{total}}{t_{move}}, \quad (5)$$

где f_{max} – максимальная частота импульсов, Гц;
 t_{move} – время перемещения, с.

На основании проведенных расчётов была разработана аппаратная платформа, состоящая из одноплатного компьютера Raspberry Pi 5, навигационного модуля L76K, драйвера DM556, шагового двигателя NEMA 24 и схемы согласования на 2N2222.

Заключение

На основании проведённых исследований и производственной проверки можно сделать следующие выводы:

– предложено техническое решение по автоматизации привода штатного механического вариатора сеялки с использованием шагового двигателя с сохранением при необходимости возможности ручного дублирующего управления и базовой кинематической схемы машины;

– разработан аппаратно-программный комплекс автоматизированного управления механическим вариатором селекционной сеялки «СС-11», объединяющий данные спутниковой навигации и цифровые карты плодородия почвы для автоматизации режима дифференцированного внесения в реальном времени, состоящий из одноплатного компьютера Raspberry Pi 5, навигационного модуля L76K, промышленного драйвера шагового двигателя DM556, схемы согласования логических уровней на транзисторах 2N2222 и алгоритмического обеспечения на языке Python.

Список источников

1. Поляков Г. Н., Шуханов С. Н., Косарева А. В. Совершенствование технических средств для возделывания яровых зерновых культур с сеялки для посева в ряды. *Пермский аграрный вестник*. 2022;2(38):33-41. DOI: 10.47737/2307-2873_2022_38_33.
2. Иванов В. В., Седов А. В., Ошурков М. В. Анализ факторов, характеризующих уровень технической эксплуатации. *Пермский аграрный вестник*. 2020;1(29):13-19. DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10003.
3. Хафизов К. А. и др. Оптимальные параметры трактора и пахотного агрегата по различным критериям оптимизации. *Аграрный научный журнал*. 2023;1:155–160. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp155–160
4. Поликутина Е. С. и др. Обоснование конструктивно-технологических параметров привода механизма внесения минерального удобрения. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2025;211:315-321. DOI: 10.21515/1990-4665-211-025.
5. Щитов С. В. и др. Повышение эффективности использования навесной селекционной сеялки СС-11. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025;6(116):62-66. DOI: 10.37670/2073-0853-2025-116-6-62-66.



6. Хафизов К. А., Халиуллин Ф. Х. Пути повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов. *Техника и оборудование для села*. 2015;10:20–22.

7. Лисунов О. В., Богиня М. В., Васильев А. А., Олейникова Е. Н. Исследование влияния параметров рабочих органов и режимов работы культиватора модульного типа на качество поверхностной обработки почвы. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023;1(61):155–160. DOI: 10.18286/1816-4501-2023-1-190-196.

8. Прошкин В. Е., Курдюмов В. И., Шаронов И. А., Зыкин Е. С. Исследования виброкатка в полевых условиях. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*.

2022;4(60):162–166. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-4-162-167.

Соколов Н. М., Стрельцов С. Б., Покусаев П. А. Влияние конструктивных и режимных параметров рабочих органов на энергетические показатели почвообрабатывающего орудия. *Аграрный научный журнал*. 2024;5:147–153. DOI: 10.28983/asj.y2024i5pp147-153.

10. Симонов М. В., Дёмшин С. Л., Дёмшин К. С. Оценка затрат энергии на обработку почвы отдельной дисковой фрезой с демпферным устройством дернинной сеялки и оптимизация параметров фрезерования. *Пермский аграрный вестник*. 2026;2(54):С. 4-12. DOI: 10.47737/2307-2873_2026_54_4.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Polyakov G. N., Shukhanov S. N., Kosareva A. V. Improvement of technical means for the cultivation of spring grain crops with the development of a seeder for sowing in ridges. *Perm Agrarian Journal*. 2022;2(38):33-41. (In Russ.). DOI: 10.47737/2307-2873_2022_38_33.

2. Ivanov V. V., Sedov A. V., Oshurkov M. V. Analysis of factors characterizing the level of technical operation. *Perm Agrarian Journal*. 2020;1(29):13-19. (In Russ.). DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10003.

3. Khafizov K. A. et al. Optimal parameters of the tractor and arable unit for various optimization criteria. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;1:155–160. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp155–160

4. Polikutina E. S. et al. Substantiation of structural and process parameters of mineral fertilizer application mechanism drive. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2025;211:315-321. DOI: 10.21515/1990-4665-211-025.

5. Shchitov S. V. et al. Improving the efficiency of using the mounted selection planter CC-11. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University (Izvestia Orenburg State Agrarian University)*. 2025;6 (116):62-66. (In Russ.). DOI: 10.37670/2073-0853-2025-116-6-62-66.

6. Khafizov K.A., Khaliullin F.Kh. Ways of efficiency increase when using machine and tractor aggregates. *Machinery and equipment for rural area*. 2015;10:20–22. (In Russ.).

7. Lisunov O.V., Boginya M.V., Vasiliev A.A., Oleinikova E.N. Study of parameter influence of the working bodies and operating modes of a modular type cultivator on quality of surface soil tillage. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2023;1(61):155–160. (In Russ.). DOI: 10.18286/1816-4501-2023-1-190-196.

8. Proshkin V.E., Kurdyumov V.I., Sharonov I.A., Zykin E.S. Research of a vibratory roller in field conditions. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2022;4(60):162–166. (In Russ.). DOI: 10.18286/1816-4501-2022-4-162-167.

9. Sokolov N.M., Streltsov S.B., Pokusaev P.A. The influence of the design and operating parameters of the working bodies on the energy indicators of the tillage tool. *The Agrarian Scientific Journal*. 2024;5:147–153. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2024i5pp147-153.

10. Simonov M. V., Demshin S. L., Demshin K. S. Evaluation of energy costs for soil cultivation with a separate disc cutter with a damper device of a sod seeder and optimization of milling parameters. *Perm Agrarian Journal*. 2026;2(54):4-12. (In Russ.). DOI: 10.47737/2307-2873_2026_54_4.

Author Contributions:

All authors contributed equally to the publication.

The authors declare no conflicts of interest.

Информация об авторах

Щитов Сергей Васильевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры транспортно-энергетических средств и механизации АПК, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», г. Благовещенск, Россия, shitov.sv1955@mail.ru.

Кривуца Зоя Фёдоровна, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой физики, математики и информатики, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», г. Благовещенск, Россия, zfk20091@mail.ru

Воякин Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры электропривода и автоматизации технологических процессов, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», г. Благовещенск, Россия, vsn177@yandex.ru



Поликутина Елена Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехники, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», г. Благовещенск, Россия, e.polikytina@mail.ru

Щитова Виктория Андреевна, студент, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», г. Благовещенск, Россия vikasi14@gmail.com

Author Information

Sergey V. Shchitov, D.Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Transport and Energy Means and Mechanization of the Agro-Industrial Complex, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia shitov.sv1955@mail.ru.

Zoya F. Krivutsa, D.Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department of Physics, Mathematics, and Computer Science, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia zfk20091@mail.ru

Sergey N. Voyakin, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Professor, Department of Electric Drives and Automation of Technological Processes, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia vsn177@yandex.ru

Elena S. Polikutina, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor, Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia e.polikytina@mail.ru

Viktoria A. Shchitova, Student, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia vikasi14@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15.07.2026; одобрена после рецензирования 10.08.2026; принята к публикации 16.09.2026.

The article was submitted 15.07.2026; approved after reviewing 10.08.2026; accepted for publication 16.09.2026.

